

ŘADA B
PRO KONSTRUKTÉRYČASOPIS
PRO ELEKTRONIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXX/1981 ČÍSLO 3

V TOMTO SEŠITĚ

Rozvíjet zájmovou a brannou
činnost 81ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ OBVODY
V PRAXIObjevy, vynálezy, patenty
a zlepšovací návrhy 82

Zapojení s operačními zesilovači 85

Definice základních pojmů, zásady

pro používání, kompenzace 86

Invertující OZ 87

Sčítací zesilovač, neinvertující OZ,

derivační a integrační zesilovač 88

Diferenční zesilovač 89

Obvody ke zvětšení vstupní

impedance 90

Úrovňové komparátory napětí 91

Proudový komparátor 93

OZ a měření odporů 94

Referenční zdroje 95

Měření teploty s OZ 97

Převodník pro měření ef. hodnoty

st. napětí 98

Elektromechanický stabilizátor

síťového napětí 99

Níže 101

Číslicové obvody

Monostabilní klopné obvody 102

Astabilní klopné obvody 104

Děliče kmitočtu a čítače 104

Komparátory 110

Převodníky 110

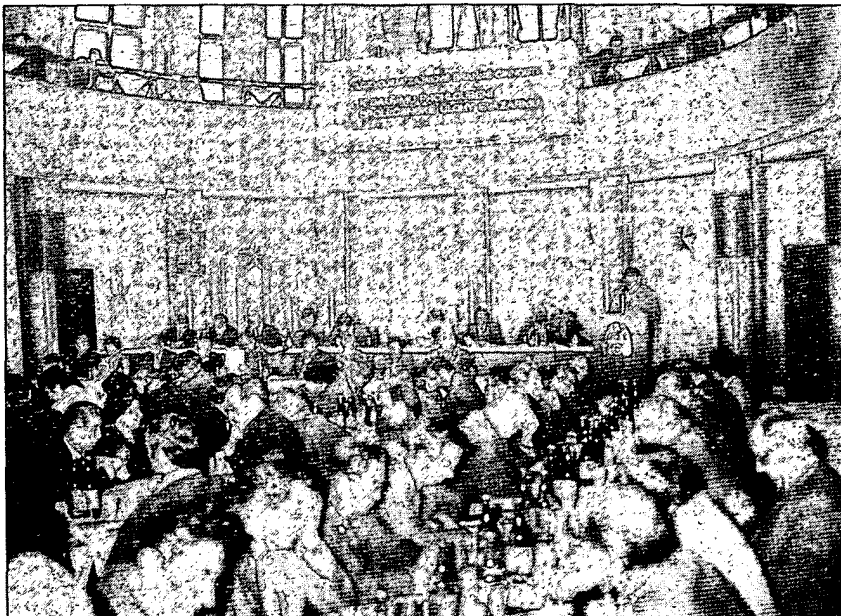
Otáčkoměry 116

Skupinový diskriminátor šířky

impulsů 120

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 26 06 51-7. Zastupující šéfredaktor Luboš Kalousek, OK1FAC. Redakční rada: K. Bartoš, V. Brzák, RNDr. V. Brunnhofer, K. Donát, A. Glanc, I. Harminec, M. Háša, Z. Hradský, P. Horák, J. Hudec, ing. J. T. Hyan, ing. J. Jaroš, doc. ing. dr. M. Joachim, ing. J. Klábal, ing. F. Králík, RNDr. L. Kryška, ing. E. Měčík, V. Němec, K. Novák, RNDr. L. Ondříš, ing. O. Petráček, ing. E. Smutný, doc. ing. J. Vackář, laureát st. ceny KG, ing. J. Zima. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51, l. 353, sekretářka l. 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky ze zahraničí vyřizuje PNS, vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 162 00 Praha 6 – Liboc, Vlastina 710. Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině. Číslo indexu 46 044. Toto číslo má vyjít podle plánu 28. května 1981. © Vydavatelství NAŠE VOJSKO, Praha

6. zasedání ÚV Svazarmu:
ROZVÍJET ZÁJMOVOU A BRANNOU ČINNOST

Na svém 6. zasedání dne 27. února 1981 projednal ÚV Svazarmu stav rozvoje zájmové branné činnosti, důležitého prostředku masového branné výchovného působení naší organizace. Posoudil plnění přijatých směrů a úkolů dalšího rozvoje zájmových branných činností z hlediska jednoty politického a odborného působení a přínos zájmové branné činnosti při plnění branné společenské role Svazarmu.

ÚV Svazarmu konstatoval, že úkoly stanovené VI. sjezdem Svazarmu v oblasti zájmové branné činnosti vcelku úspěšně plníme: Rezervy spatřuje v tom, že ne všechny masové branné soutěže dosud patřičně přispívají k ideově-politické výchově a že ne všichni branné výchovní pracovníci a instruktoři spojují svoji odbornou činnost s angažovanou politickovýchovnou prací.

Nedostatků byly konstatovány i v oblasti polytechnické výchovy. Citováno z návrhu usnesení: „Přetrvávají nedostatky v masovém rozvíjení branné technické činnosti. To se týká především radioamatérství, elektroakustiky a videotechniky. Málo bylo dosud vykonáno pro rozvoj základní branné přípravy s využitím komplexu disciplin Odznaku branné připravenosti. Trvající rozpor se projevuje mezi požadavkem masového rozvoje zájmových branných činností, stavem současně materiálně technické základny a schopností jejího efektivnějšího využívání.“

Můžeme předpokládat, že splněním úkolů, stanovených v usnesení 6. zasedání ÚV Svazarmu, se posune naše zájmová branná činnost – radioamatérství – o další krok kupředu. Na základě tohoto usnesení bude Federálnímu ministerstvu pro technický a investiční rozvoj předložen návrh systému materiálně technického zabezpečení zájmové branné činnosti, který sleduje zvýšení podílu Svazarmu na polytechnické výchově, a ÚV, ČÚV a SÚV Svazarmu budou společně řešit otázky materiálně technického a investičního zabezpečení zájmové branné činnosti ve Svazarmu na základě podrobné analýzy situace ve dvou různých okresech. Bude opět vydána příručka „Směry a úkoly dalšího rozvoje radistické činnosti Svazarmu“ (do konce června 1982), protože jsou stále ještě radiokluby a základní organizace, kam „nepronikla“.

Pokud jde o otázku odborných instruktorů, dostaly ústřední, republikové i krajské rady

jednotlivých svazarmovských odborností za úkol provést do konce letošního roku analýzu účinnosti systému přípravy branné výchovných kádřů a navrhnout územním orgánům Svazarmu opatření ke zkvalitnění.

Krajským a okresním výborům Svazarmu usnesení 6. zasedání ÚV Svazarmu uložilo projednat přijaté závěry s hlavním zřetelem k pomoci základním organizacím a jejich klubům (do konce června 1981). Seznamte se proto s dokumenty 6. zasedání ÚV Svazarmu, které jsou již nyní k dispozici v souhrnném vydání na každém OV Svazarmu.

Problematikou rozvoje zájmové branné činnosti se zabývá nová publikace s názvem „Práce ZO Svazarmu s koncepcemi zájmových branných činností“ autora plk. Jaroslava Musílkou, vydaná ÚV Svazarmu začátkem letošního roku.

I když jsme připustili, že snad ještě existují některé radiokluby a ZO Svazarmu, jejichž členové si brožuru „Směry a úkoly dalšího rozvoje radistické činnosti Svazarmu“ zatím neprostudovali (ti necht si nenechají ujít její reedici), většina našich radioamatérů se s jejím obsahem jistě seznámila, protože posláním nové koncepce je také zlepšit naši práci a její celospolečenský dopad. Přesto – nebo právě proto – doporučujeme funkcionářům našich radioklubů, ZO Svazarmu a kolektivních stanic, aby při studiu a práci s novou koncepcí radioamatérské činnosti ve Svazarmu věnovali pozornost zmíněné práci plk. Jaroslava Musílkou. Znalost obsahu této práce rozhodně přispěje k lepšímu pochopení nové koncepce radioamatérské činnosti a usnadní její aplikaci do praxe. Dejme slovo autorovi této publikace, plk. Jaroslavu Musílkovi (úvodní slovo k práci):

„Ve Svazarmu nabývá stále většího významu zájmová činnost, v níž se ztváří, využívá a rozvíjí zájem občanů a mládeže v souladu s potřebami socialistické společnosti.

Zvláštní péče o rozvoj zájmových činností v základních organizacích vyvstala do popředí v souvislosti s řešením požadavku masovějšího působení Svazarmu. Jejich úkoly jsou konkretizovány v dokumentech známých všem svazarmovcům pod názvem koncepce zájmových činností. Jejich vypracování a projednání v orgánech ústředního výboru Svazarmu bylo spojeno s řešením úkolů, které vyplynuly pro Svazarm ze závěrů XV. sjezdu Komunistické strany Československa.

Nové koncepce orientují základní organizace a jejich kluby k aktuálnímu politickému úkolu Svazarmu – pod vedením KSČ pomáhat ozbrojeným silám při zajišťování obrany a v branné výchově a přípravě občanů.

Realizace koncepcí zájmových branných činností má a bude mít povahu dlouhodobého procesu, který nepochybně bude ovlivněn závěry XVI. sjezdu Komunistické strany Československa.

Tato publikace, která vychází z vojenskopolitického programu XIV. a XV. sjezdu KSČ, z usnesení PUV KSČ z 19. 3. 1971 a z 30. 3. 1973, ze zasedání ÚV KSČ zejména z roku 1980 a z rezoluce VI. celostátního sjezdu Svazarmu, si neklade za cíl vykládat systematicky obsah jednotlivých koncepcí tak, jak je postupně ÚV Svazarmu schválil, a tím tyto dokumenty nahrazovat, ale chce přispět k jednotnému chápání cílů a úkolů dalšího rozvoje svazarmovských zájmových činností. Činí tak se zřetelem k praktickým potřebám základních organizací a jejich klubů.

Celá publikace podává v šesti částech (I. Rozvoj masovosti – náročný požadavek VI. sjezdu Svazarmu, II. Význam svazarmovských zájmových činností, III. Nové koncepce rozvoje svazarmovských zájmových činností, IV. Základní organizace a kluby střediskem masové politické práce Svazarmu, V. Za vyšší dovednosti a návyky v zájmových činnostech Svazarmu, VI. Za větší masovost branných sportů a za vyšší výkony) ucelený pohled na otázky zájmové branné činnosti a způsob zpracování svědčí o zkušenostech autora v tomto oboru nejen v našich podmínkách, ale i v branných organizacích jiných socialistických států. Politicko-výchovné oddělení ÚV Svazarmu ve svém průvodním slově vydavatele tuto publikaci uvádí pod názvem „Masový rozvoj zájmových činností Svazarmu“, což je rovněž výstižné, některé čtenáře by to však mohlo zmylit.

Autor poukazuje také na rezervy v zájmové branné činnosti, které potvrdilo 6. zasedání ÚV Svazarmu, a ukazuje jejich příčiny:

„Činnost v klubech již delší dobu ovlivňuje silící rozpor mezi potřebami a existujícími zdroji prostředků i vlastními příjmy. I když ještě dlouho nebude Svazarm schopen sám pokrýt výdaje na svou činnost, nelze přehlížet fakt, že příjmy z vlastních zdrojů nejsou úměrné nákladům na řadu zájmových činností a organizovaných akcí. Společným jmenovatelem toho je ve většině organizací Svazarmu nedostatečná péče o proporcionální rozvíjení činností a materiální technické základny s přihlédnutím k prioritám některých oborů. Řešení těchto problémů vyžaduje nové přístupy k hospodaření s finančními prostředky i v materiálně technické, hospodářské a investiční oblasti. Neujasněnost jednotlivých směrů v zabezpečení činnosti v základních článcích Svazarmu má za následek jistou živelnost ve finanční a investiční činnosti, její nerovnoměrné rozložení a obtížné prosazování právě ve prospěch větší masovosti.“

A k problému politickovýchovného působení zájmové branné činnosti autor uvádí:

„Zvlášť aktuálním požadavkem je jednotna politického a odborného působení a její řešení v praxi klubů. V praxi mnohých klubů jsme stále svědky stavu, jako by výchova a zájmová odborná příprava byly dva od sebe oddělené komponenty svazarmovského působení. Vzájemnou vazbu obou nejlépe dokumentuje již léty prověřená pravda, kterou v minulosti vyjádřil sám J. A. Komenský myšlenkou: „Kdo prospívá v učení a hyne v mravech, více hyne

než prospívá. Člověk, který mnoho zná a doveďe, nemusí být ještě dobrým člověkem, byla-li zanedbána jeho výchova.“

Věříme, že několik stručných ukázek z práce plk. J. Musíka přispěje k jejímu proniknutí mezi širokou svazarmovskou veřejností a hlavně mezi svazarmovské funkcionáře a tím i k dalšímu zlepšování podmínek i výsledků naší zájmové branné činnosti.

ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ OBVODY V PRAXI

Ing. M. Arendáš, ing. M. Ručka

Nášim záměrem bylo sestavit příručku, která by byla přínosem pro konstruktéry – elektroniky. Každý z nás, kdo se jen trochu zajímá o elektroniku, pročítá časopisy a odborné publikace. Nápady a zapojení, které jej zajímají, si obvykle zaznamenává do sešitu, aby v době, kdy začne něco z oblasti elektroniky potřebovat, nemusel buď prohledávat celé ročníky časopisů, nebo vymýšlet něco, co již bylo vymyšleno. Tentokrát jsme do takového sešitu sáhli my a předkládáme výňah z něho k nahlédnutí všem čtenářům a odběratelům AR: Jsou to v podstatě „poznámky“, sebrané za určité časové období, doplněné o praktické poznatky z konstrukce obvodů a přístrojů.

Objevy, vynálezy, patenty a zlepšovací návrhy

Je zajímavé, jak velký je současný zájem o technické časopisy typu Amatérského rádia – jeho náklad dosahuje nákladu mnoha populárních periodik. Zkoumáme-li příčiny zjistíme, že časopis odebírají nejen radioamatéři, kterým bylo AR původně určeno, ale i profesionálové v oboru, neboť i těm má po odborné stránce „co říci“. Odběrateli jsou i četní zájemci o radiotechniku a spotřební elektroniku. Tím vším rostou i úkoly časopisu. Musí si držet takovou úroveň, aby odborným teoretickým příspěvkům rozuměli pokud možno všichni čtenáři a naopak, aby různé stavební návody měly tolik vtipu, že zaujmou i odborníky. Časopis samozřejmě sleduje vývoj techniky a je jedním ze základních pramenů poznávání tohoto vývoje. Z této úvahy vychází i myšlenka, že pomáhá-li časopis k technické výchově v oboru elektroniky, pomáhá zpětně i rozvoji tohoto oboru techniky tím, že poučení čtenářů získané poznatky dokáží přenést na svá pracoviště, všimají si více technických problémů, někdy je dokáží i řešit a svého koníčka dovedou převést i do technicky odlišných oborů. Samotná myšlenka, nápad, však nestačí. Každý technik musí umět svou technickou myšlenku přetvořit ve skutečnost. Musí ji umět sám realizovat nebo řídit její realizaci.

Jednou z vyšších forem práce technika je zlepšovatelství. Z hlediska národního hospodářství toto hnutí není zanedbatelné – představuje ročně hodnoty kolem šesti miliard korun. Zlepšovatelství je u nás podáno ročně mnoho desítek tisíc, přihlášek vynálezů kolem desítek tisíc. Mnohé podniky při zavádění nového výrobku přímo počítají, o kolik se zmenší původní náklady vlivem zlepšení, která vzniknou ze zlepšovacích návrhů (to je známá situace v automobilkách – zejména pracnost se na novém typu zmenší zavedením zlepšovacích návrhů jen v prvním roce výroby až o 10 %). Ačkoli nikdo nepochybuje o užitečnosti zlepšovatelství, chybí v současné době v naší literatuře seriózní návody (určené zejména mladším zájemcům), jak postupovat při tom, chce-li někdo svůj nápad realizovat jako zlepšovací návrh, vynález nebo objev. V populárních časopisech se mnoho píše o atrakcích kolem vynálezů a vynálezců. Různí autoři si bohužel

všimají více všelijakých výstřelků kolem vynálezů a vynálezce zařazují do jakési kategorie podivínů, kteří neznají nic jiného, než práci nad jedním úkolem. Slovo „vynálezce“ dostává v naší řeči téměř hanlivý výraz.

Pak je třeba se ptát, jak to s vynálezectvím ve skutečnosti u nás je. Zejména proto, že naše socialistická společnost, socialistický průmysl, vynálezectví podporuje. Vláda se snaží vynálezectví zákonnými opatřeními preferovat a rozvíjet jako neoddelitelnou složku rozvoje průmyslu. Nejprve bych upozornil na několik obecných zásad a pak poukázal na základní pravidla a zákonná ustanovení, vztahující se k vynálezectví.

Mohu-li posoudit celý problém z několika případů, které osobně znám, dělají nezkušené vynálezce v zásadě dvě hlavní chyby. První chybou je vynalézat a objevovat a teprve potom pro svůj objev hledat výrobce, odběratele a vymýšlet různá uplatnění. Překonat bariéru, vzniklou sortimentem výrobků, plány výroby, výrobně-odběratelské vztahy, směrnými čísly výroby a požadavky velkoobdobatelů, je pro nezkušeného jednotlivce, přicházejícího se svým novým vynálezem, o kterém je přesvědčen, že „to“ je právě to, co společnost potřebuje, obvykle vůbec nemožné. Pokud v této fázi nemá výjimečné štěstí a pokud jeho vynález nějakým způsobem nezapadne do výrobního programu nějakého výrobce, dochází obvykle k desiluzím a často mnohaletá práce nejen že není odměněna, ale přichází i vničeč. Správné je svoje úsilí věnovat věcem, které jsou potřebné. Zpočátku si všimát „tematických úkolů“, věnovat se zlepšování výroby a výrobků, s nimiž přicházíme do styku. Nejschůdnější cestou je přenášet poznatky např. z elektroniky do různých jiných oborů.

Druhou základní chybou je, že se začátečník obvykle stará o věci nepodstatné a nesoústředí se na věci základní. Podstatou je, že autor musí umět svůj nápad převést do praxe. Vždy, ať jde o zlepšovací návrh, vynález nebo objev je nutné, aby bylo možno myšlenku realizovat. Realizátorem musí být sám objevitel – nebo alespoň musí umět tuto realizaci technicky řídit – to je na první pohled skromná podmínka, ale bývá průběžným kamenem. Mnozí si ji v celém rozsahu neuvědomují, realizaci podceňují, a proto neuspějí. Při vynálezcečské činnosti je výhodné vytvářet pracovní týmy, v nichž se především na realizaci vynálezu podílejí zástupci různých profesí: technici různých zaměření,

dělník realizátor apod. Zákon taková spojení tvůrců umožňuje a při přihlašování zlepšovatelství návrhů i vynálezů může být jako autor uveden jak jednotlivec, tak celý kolektiv. Podle definice je autorem objevu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru ten, kdo učinil objev, vytvořil vynález, zlepšovací návrh nebo průmyslový vzor vlastní tvůrčí prací, a u zlepšovacího návrhu též ten, kdo použil řešení převzaté z odborné literatury nebo z praxe jiné organizace a tvůrčím způsobem je přizpůsobil podmínkám příslušné organizace. Spolupřispěly objevu, vynálezu, zlepšovacího návrhu nebo průmyslového vzoru jsou osoby, které se na nich podílely společnou tvůrčí prací.

Věta „podílet se vlastní tvůrčí prací“ není náhodná. Je citací ze zákona č. 84/1972 Sb. o objevech, vynálezech, zlepšovacích návrzích a průmyslových vzorech. Ten, kdo např. donutí svého podřízeného k tomu, že jej přibere jako spoluautora a nepodílí se na „tvůrčí práci“, jedná proti zákonu.

Základním stupněm je „zlepšovací návrh“. Mnohé podniky vyžadují, aby vynálezce každý vynález nebo objev k tomu vhodný přihlásil nejprve jako zlepšovací návrh. Například by mělo být pro každou racionalizační komisi závodu, projednávající zlepšovací návrh, samozřejmé, že má posoudit, není-li podaný zlepšovací návrh zároveň vhodný k projednání jako objev nebo vynález.

Zlepšovacím návrhem je konkrétní vyřešení výrobní technického, technicko-organizačního nebo organizačně hospodářského problému organizace, které je v této organizaci nové a jehož využití přináší společenský prospěch. Zlepšovacím návrhem nemůže být vyřešení takového úkolu, který má autor v popisu práce, a který je jeho pracovním úkolem. To však neplatí v případech, kdy autor vyřeší „tematický úkol“. Zlepšovací návrh má být v organizaci nový. To je zejména tehdy, když nebyly před podáním přihlášky zlepšovacího návrhu;

a) provedeny přípravy, které směřují k využívání řešení shodného s předmětem přihlášky zlepšovatelství návrhu;
b) nebyly shodné řešení obsaženo v závazných předpisech nebo příkazech (jako např. v technických normách, instrukcích apod.). Na závadu novosti návrhu není, bylo-li řešení v organizaci využito z podnětu autora během tří měsíců před podáním přihlášky. Jestliže autor nejprve zlepšovací návrh realizuje, prakticky ověří a potom teprve podá přihlášku, nezbavuje se priority.

Zlepšovacím návrhem není:

- pouhé vytyčení úkolu;
- pouhé doporučení nákupu zařízení nebo materiálu, není-li současně navržen výhodnější způsob jejich využívání nebo opatřování;
- návrh na změnu právního předpisu;
- upozornění na porušování platného předpisu nebo na nedostatky a chyby způsobené zřejmou nedbalostí třetí osoby.

Převědeme-li si vše na konkrétní případ, není zlepšovacím návrhem, navrhneme-li náklad vysokozdvizných vozíků do skladu, byť se tím ušetřily např. dvě pracovní síly.

Práva a povinnosti zlepšovatele

Přihlášku zlepšovacího návrhu může podat každý občan, který předmět přihlášky vytvořil nebo spoluvytvořil, nebo jeho dědic. Formulář přihlášky je typizovaný jako tiskopis SEVT 10 0840. Přihláška zlepšovacího návrhu se podává v organizaci, jejíž předmětu činnosti se přihláška týká. Pokud jde o několik organizací, lze přihlášku podat jejich nadřízené složce.

Právním a důležitým pojmem je „správce zlepšovacího návrhu“. To je státní organizace, která první rozhodla kladně o přihlášce zlepšovacího návrhu. Je povinna pečovat o jeho plánovitě všestranné využívání a nakládat s ním v souladu se zájmy státu a národního hospodářství; zejména je povinna zlepšovací návrh rozšiřovat a pečovat o ochranu oprávněných zájmů autora.

S kladným rozhodnutím o zlepšovacím návrhu vydá organizace současně jeho autorovi zlepšovatelství průkaz. Zlepšovatelství průkazem organizace uznává předmět přihlášky za zlepšovací návrh, stvrzuje, že ho využije, stvrzuje autorství a právo přednosti ke zlepšovacím návrhům v rámci organizace, zlepšovatelství průkazem se dále stvrzuje ve vzájemném souladu práva státu a autora zlepšovacího návrhu. Autoru zlepšovacího návrhu přísluší právo na odměnu za využití a právo na účast při rozpracování, zkoušení a zavádění zlepšovacího návrhu. Zruší-li organizace své kladné rozhodnutí o zlepšovacím návrhu proto, že dodatečně zjistí, že nebyly splněny podmínky pro jeho využívání, pozbývá zlepšovatelství průkaz platnosti.

Zamítla-li organizace přihlášku zlepšovacího návrhu, může přihlašovatel ve lhůtě jednoho měsíce od zamítnutí přihlášky nebo od zrušení rozhodnutí o využívání požádat o přezkoumání rozhodnutí orgánů přímo nadřízených organizaci. Žádost o přezkoumání se podává prostřednictvím organizace, která přihlášku zlepšovacího návrhu zamítla nebo zrušila své rozhodnutí o využívání. Tato organizace může sama vyhovět žádosti a změnit rozhodnutí. V opačném případě je povinna předložit žádost do jednoho měsíce nadřízenému orgánu spolu se svým odůvodněným stanoviskem.

Využívá-li organizace zlepšovacího návrhu, jehož je možno využívat v několika organizacích, je povinna jej předat svému nadřízenému orgánu nebo přímo dalším organizacím, o nichž je jí známo, že by ho mohly využívat. O tomto předání je organizace povinna informovat autora zlepšovacího návrhu. Stejně povinnosti má organizace i u návrhů, kterých nevyužila, u nichž však předpokládá možnost využití v jiné organizaci.

Zlepšovací návrh, došlý organizaci cestou rozšiřování zlepšovacích návrhů, se projedná jako přihláška zlepšovacího návrhu, podaná přímo v organizaci.

Odměnu za využití zlepšovacího návrhu vyplácí organizace, která zlepšovacího návrhu využila. Využívá-li zlepšovacího návrhu více organizací, může za ně odměnu vyplatit jejich společný nadřízený orgán. Nadřízený orgán má právo požadovat od využívajících organizací, aby mu uhradily poměrnou část vyplacené odměny. Podíl stanoví nadřízený orgán podle toho; v jakém rozsahu organizace zlepšovacího návrhu využily.

Všechny využívající organizace jsou povinny sdělit správci rozsah využití zlepšovacího návrhu a výši vyplacené odměny. To platí přiměřeně i pro oznamovací povinnost organizací vůči nadřízenému orgánu, který za ně vyplatil odměnu za využití zlepšovacího návrhu.

Organizace je povinna před rozhodnutím umožnit přihlašovatel, aby se mohl vyjádřit k výsledku jejího průzkumu. Toto ustanovení se nepoužije, hodlá-li organizace rozhodnout o přihlášce zlepšovacího návrhu kladně.

Organizace rozhodne o přihlášce zlepšovacího návrhu nejpozději do dvou měsíců od doby, kdy přihláška došla, a oznámí své rozhodnutí přihlašovatel. V kladném rozhodnutí sdělí organizace přihlašovatel, že předmět přihlášky splňuje podmínky stanovené pro zlepšovací návrh, a dobu počátku využití zlepšovacího návrhu.

Vyžaduje-li projednání přihlášky zlepšovacího návrhu rozsáhlejší šetření a nelze-li

proto do dvou měsíců rozhodnout, stanoví organizace další přiměřenou lhůtu k rozhodnutí a se zdůvodněním seznámí přihlašovatele. Obdobně se postupuje u přihlášky zlepšovacího návrhu, která byla současně podána jako řešení tematického úkolu.

Využitím zlepšovacího návrhu je skutečné provedení navrhovaného opatření v organizaci. Přihlašovatel nemůže přihlášku zlepšovacího návrhu po jejím podání odvolat ani zrušit.

Vyšším stupněm vynálezecké činnosti je „objev“. Objevem je stanovení dosud neznámých, objektivně existujících jevů, vlastností nebo zákonitostí materiálního světa, dokázané vědeckou metodou.

Objevem není:

- stanovení vlastností nových látek a vztahů mezi těmito vlastnostmi, které na základě známých přírodních zákonitostí a stavu techniky lze běžně odvodit z vlastností již obdobných látek;
- zpsnění hodnot zkoumaných veličin;
- konkretizace známých zákonitostí;
- nález geologický, geografický, archeologický a paleontologický.

Dokázáním vědeckou metodou se rozumí experimentální prokázání, nebo, nepřipouští-li to povaha předmětu přihlášky objevu, alespoň provedení teoretického důkazu.

Na objevy uděluje Úřad pro patenty a vynálezy (UPV) diplomy. Diplomy se neudělují na objevy z oblasti společenských věd. Diplom se uděluje na jméno autora objevu. Udělením diplomu se předmět přihlášky uznává za objev, stvrzuje se autorství k objevu – autoru objevu vzniká právo na odměnu a na výhody stanovené zákonem.

Odměnu za objev stanoví UPV po projednání s Československou akademií věd nebo Slovenskou akademií věd nebo Československou akademií zemědělskou; odměnu vyplácí UPV.

Byl-li objev učiněn autorem nebo některým ze spoluautorů při plnění úkolů z pracovního poměru, členské nebo jiného obdobného vztahu k organizaci nebo v přímé souvislosti s jejich plněním nebo za hmotné podpory organizace, je autor povinen uvést bezodkladně o objevu tuto organizaci. Organizace je povinna působit k tomu, aby byla podána přihláška objevu i přihlášky vynálezů, které vyplývají z tohoto objevu.

Vynálezem je vyřešení technického problému, které je nové a znamená ve srovnání se světovým stavem techniky pokrok, projeví se novým nebo vyšším účinkem.

Vynálezem není vyřešení technického problému, nelze-li předmět přihlášky vynálezu průmyslově vyrábět nebo podle něho postupovat při výrobě. Vynálezem rovněž není vyřešení technického problému, které je v rozporu se společenskými zájmy, zejména se zásadami lidskosti a socialistickou morálkou.

Úřad pro patenty a vynálezy uděluje na vynálezy autorská osvědčení nebo patenty. Zákon č. 84/1972 Sb. o objevech a vynálezech, zlepšovacích návrzích a průmyslových vzorech stanoví, že autor může žádat první ochranu autorským osvědčením nebo patentem. Osvědčením se potvrzuje přihlašovatel autorství a právo přednosti k vynálezu, který se tak uznává za vynález, dále se ve vzájemném souladu stvrzuje práva státu a autora. To platí ode dne podání – zaznamenává se proto nejen den, ale i hodina a minuta – a u autorského osvědčení nejsou na rozdíl od patentu, jehož platnost trvá 15 let, práva časově omezena.

Vynálezy chráněné autorským osvědčením jsou národním majetkem a autorům náleží příslušná odměna, kterou je třeba podle zákona nejen správně stanovit, ale i včas vyplácet. Vynálezci, který žádá o takové osvědčení, poskytují organizace podle zákona zdarma účinnou pomoc po celou dobu řízení včetně realizace. Naši autoři a autoři ze zemi RVHP využívají výhradně ochrany formou osvědčení, což je pro ně výhodnější.

Výhradně autorské osvědčení se uděluje na vynálezy:

- a) které autor nebo některý ze spoluautorů vytvořil v pracovním poměru k organizaci nebo za její hmotné podpory;
- b) látek vzniklých přeměnou atomových jader a technických řešení spojených se získáváním nebo využíváním jaderné energie;
- c) léčiv, chemicky vyrobených látek, poživatin a průmyslových produkčních mikroorganismů.

ÚVP může vyzvat přihlašovatele, aby zavedením předmětu přihlášky, vynálezu nebo jinou vhodnou technickou metodou prokázal jeho uskutečnitelnost a dosahovaný účinek; neprokáže-li to přihlašovatel bez vážného důvodu, má se za to, že přihlašovaný předmět není uskutečnitelný, popř. že se jím nedosahuje nového nebo vyššího účinku.

V průběhu projednávání přihlášky vynálezu ÚVP zveřejní po předchozím upozornění přihlašovatele popis a výkresy předmětu přihlášky a toto zveřejnění oznámí ve Věstníku. U zveřejněných přihlášek může kdokoli podat námítky proti udělení autorského osvědčení nebo patentu ve lhůtě do tří měsíců ode dne, kdy zveřejnění bylo oznámeno ve Věstníku. Vynálezy vytvořené v ČSSR a vynálezy vytvořené čs. státními občany zdržujícími se v zahraničí mohou být přihlášeny do zahraničí až po přihlášení v ČSSR a jen se souhlasem ÚVP. Souhlas ÚVP je rovněž třeba k odvolání přihlášky vynálezu podané v zahraničí a k upuštění od udržování patentu uděleného v zahraničí.

Jak u zlepšovacích návrhů, tak i u vynálezů existuje pojem „správce“. Nejčastěji to je organizace, u níž je autor v pracovním poměru. Je povinna na žádost autora bezplatně spolupůsobit při vypracování a podání přihlášky jeho vynálezu a zajistit jeho zastupování v řízení o přihlášce vynálezu, který náleží do předmětu její činnosti, a v níž se žádá o udělení autorského osvědčení. Pomoc poskytne organizaci i autor, který není v pracovním poměru k organizaci, s výjimkou případů, kdy je patrné, že nejde o vynález prospěšný pro národní hospodářství.

Nakonec je třeba zmínit se o posledním typu „zlepšovatelské“ činnosti, který stojí trochu na okraji techniky. Je to „průmyslový vzor“. Průmyslovým vzorem je vyřešení vnější úpravy výrobku, plošné nebo prostorové, které je nové použitelné v průmyslové výrobě. Vnější úprava výrobku spočívá zejména ve zvláštním vnějším vzhledu, tvaru, obrysech, kresbě, barvě nebo ve zvláštním uspořádání barev anebo v kombinaci těchto znaků. Průmyslový vzor je použitelný v průmyslové výrobě, jestliže se podle něho mohou opakovaně vyrábět výrobky průmyslovým způsobem. Průmyslovým vzorem není vyřešení vnější úpravy výrobků, které je v rozporu se společenskými zájmy, zejména se zásadami lidskosti a socialistickou morálkou.

Typickým průmyslovým vzorem bývají např. tvary lahví některých nápojů. Stejně jako u vynálezů uděluje ÚPV na průmyslové vzory osvědčení nebo patenty. Platí zde podobná právní ustanovení a podobná „pravidla hry“ jako u patentového řízení.

Některá ze zákonných práv vynálezců

Organizace, u níž je autor v pracovním poměru, je povinna umožnit mu účast při projednávání přihlášky objevu, přihlášky vynálezu, v níž se žádá o udělení autorského osvědčení, a přihlášky průmyslového vzoru, v níž se žádá o udělení osvědčení na průmyslový vzor. Organizace má povinnost přizvat autora k účasti při rozpracování, zkoušení a zavádění jeho vynálezu, zlepšovacích návrhů a průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu; u zlepšovacích návrhů nemá však organizace uvedenou povinnost tehdy, když by náklady na účast autora byly ve značném nepochopitelném předpokládanému společenskému prospěchu z využití zlepšovacích návrhů, nebo by jej nepříznivě ovlivnily. Organizace, u níž je autor v pracovním poměru, musí autoru umožnit tuto spolupráci a poskytnout mu v nezbytném nutném rozsahu pracovní volno; jde-li o spolupráci při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení v jiné organizaci, dohodne tato organizace poskytnutí pracovního volna s organizací, s níž je autor v uvedeném vztahu. Pokud spolupráce autora při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení spadá do pracovní doby vyplývající pro něho z pracovního poměru, poskytne mu za tuto dobu náhradu mzdy ve výši průměrného výdělku organizace, u níž je v pracovním poměru; pomáhá-li v této době při rozpracování, zkoušení nebo zavádění řešení v jiné organizaci, uhradí tato organizace vyplacenou náhradu organizaci, která mu náhradu mzdy vyplatila. Uskutečňuje-li se spolupráce autora při rozpracování, zkoušení nebo zavádění jeho řešení mimo jeho pracovní dobu, upraví se vzájemná práva a povinnosti z toho vyplývající dohodou o provedení práce.

Autor vynálezu, zlepšovacích návrhů a průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu, má nárok na úhradu přiměřených nákladů spojených s vypracováním výkresů, modelů nebo prototypů, pokud je organizace při zjišťování, zda lze vynález, zlepšovacích návrhů a průmyslového vzoru využít, nebo při jejich využití řádně převzala.

Právo na odměnu vzniká autoru udělením diplomu na objev, využitím vynálezu, na který bylo uděleno autorské osvědčení, využitím zlepšovacích návrhů, na který byl vydán zlepšovatelský průkaz, a využitím průmyslového vzoru, na který bylo uděleno osvědčení. Nerozhodně-li o přihlášce zlepšovacích návrhů organizace ve dvouměsíční nebo prodloužené lhůtě a využívá-li předmětu přihlášky, má jeho autor nárok na odměnu, splňuje-li předmět vyhlášky podmínky zlepšovacích návrhů. Odměna za objev se určí podle jeho společenského významu a vyplácí se nejpozději do šesti měsíců po udělení diplomu. Výše odměny za využití vynálezu, zlepšovacích návrhů a průmyslového vzoru závisí na společenském prospěchu využívající organizace. Odměny za využití vynálezů, zlepšovacích návrhů a průmyslových vzorů a náhrady za výkresy, modely a prototypy stanoví využívající organizace podle příslušných předpisů. Organizace je povinna nejpozději do jednoho měsíce ode dne, kdy byla stanovena výše odměny, seznámit autory

s podklady, které sloužily ke stanovení výše odměny za vynález, zlepšovacích návrhů a průmyslový vzor. Splatnost odměn a náhrad dohodnou strany ve smlouvě. Pokud si strany nedohodnou kratší lhůtu, je odměna splatná do jednoho měsíce po uplynutí jednoho roku od počátku využívání vynálezu, zlepšovacích návrhů nebo průmyslového vzoru. Důležité je i to, že při zrušení diplomu za objev, autorského osvědčení na vynález nebo kladného rozhodnutí o zlepšovacích návrhu, odměna ani její část se nevracejí, „pokud byly nabyty v dobré víře“. Odměny za zlepšovacích návrhů, vynálezů, průmyslové vzory a objevy se nesmějí sloučovat s jinými druhy odměn a případně vzájemně kombinovat. Výše odměny je určena vyhláškou ÚVP č. 106 ze dne 12. prosince 1972, str. 26 (je uveden přímo sazebník odměn).

Zákon podporuje zavádění nové techniky a vynálezci také tím, že i osoby, které se iniciativně zúčastnily rozpracování, zkoušení nebo zavádění objevu, vynálezu, zlepšovacích návrhů nebo průmyslového vzoru, u nichž právo k využití přísluší státu, mají právo na odměnu za tuto účast. Právo na odměnu za tuto účast však nepřísluší vedoucím hospodářským pracovníkům organizace, jejichž hmotná zainteresovanost je upravena zvláštními předpisy, nebo těm pracovníkům organizace, u nichž tato účast vyplývá z jejich pracovních povinností. Osoby, které upozorní organizaci na možnost využití vynálezu nebo zlepšovacích návrhů zavedeného již v jiné organizaci, mají vůči organizaci, která zavedla vynález nebo zlepšovacích návrhů na základě jejich upozornění, právo na odměnu za toto upozornění. Právo na tuto odměnu nemají však pracovníci, k jejichž pracovním povinnostem patří též sledovat a navrhovat zavádění nové techniky nebo nových pracovních metod.

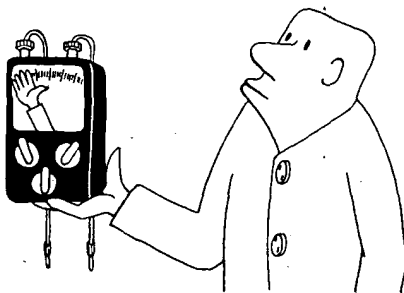
Spory

V zásadě spory, týkají-li se:

- a) autorství k objevu, vynálezu, zlepšovacím návrhům a průmyslovému vzoru,
- b) zda objev, vynález či průmyslový vzor vytvořil autor nebo některý ze spoluautorů v pracovním poměru k organizaci nebo za její hmotné podpory,
- c) práva předchozího uživatele,
- d) odměny za objev, vynález, zlepšovacích návrhů a průmyslový vzor, zejména spory o vznik nároku na odměnu, způsob stanovení odměny a o její výši,
- e) odměny za vyřešení tematického úkolu, za účast na rozpracování nebo zavádění objevu, vynálezu, zlepšovacích návrhů nebo průmyslového vzoru, za upozornění na možnost využití vynálezu nebo zlepšovacích návrhů,
- f) porušení práv z autorského osvědčení nebo z osvědčení na průmyslový vzor, vyřizuje vždy odborový orgán. Spory mezi organizacemi z právních vztahů, týkajících se objevů, vynálezů, zlepšovacích návrhů a průmyslových vzorů rozhodují orgány hospodářské arbitráže.

Odborový orgán musí dbát, aby byl při jednání zjištěn skutečný stav věci co nejúčelněji a nejrychleji, a aby sjednaný smír byl v souladu s platnými předpisy. Po schválení smíru si vyžádá odborový orgán od účastníků sporu potřebné podklady a přizve k jednání účastníky sporu a podle potřeby i další osoby, které mohou přispět k objasnění věci. Po dobu smírního řízení v odborovém orgánu, nejdéle však po dobu tří měsíců, neběžá doba promlčení. Smír nabývá právní moci dnem, kdy odborový orgán vydal rozhodnutí o jeho schválení. Schválený smír je závazný pro účastníky i pro všechny orgány.

Nebyla-li splněna ve stanovené lhůtě povinnost převzatá schváleným smírem, může se oprávněný domáhat u soudu soudního



výkonu tohoto smíru. Schválení smíru odborovým orgánem může být zrušeno soudem, zjistí-li se, že je v rozporu s právními předpisy. Soud v tomto případě rozhodne ve věci samé. Návrh na zrušení smíru může podat účastník sporu, státní orgán nebo společenská organizace nejpozději do tří let od právní moci smíru.

Odborový orgán zruší na návrh kteréhokoli účastníka sporu schválení smíru, jestliže se dodatečně zjistily mimořádně závažné okolnosti, kterých tento účastník nemohl bez své viny použít a které odůvodňují podstatně příznivější rozhodnutí v jeho prospěch. Návrh na zrušení smíru může účastník podat pouze do tří měsíců ode dne, kdy se dozvěděl o okolnostech odůvodňujících navrhovanou změnu, nejpozději do tří let od právní moci smíru.

Ústřední orgány státní správy federace a republik jsou oprávněny uložit pokutu za porušení povinností stanovených tímto zákonem, pokud tím byly způsobeny průtahy nebo nezajišťování podmínek pro přihlašování, projednávání, zkoušení, využívání a rozšiřování vynálezů, zlepšovacích návrhů a průmyslových vzorů, u nichž státu přísluší právo k využití, nebo pokud tím bylo způsobeno omezení nebo poškození majetkových nebo jiných práv státu nebo autorů. Jestliže do třiceti dnů od podání návrhu nebyl smír odborovým orgánem schválen, může účastník navrhnout, aby spor byl postoupen bezodkladně soudu, nebo se může obrátit přímo na soud. Příslušným soudem je okresní soud, v jehož obvodu má smírčí orgán své sídlo.

Shrneme-li vše, co bylo řečeno, musí pracovník, který se cítí poškozen, nejprve svoji stížnost přednést orgánu ROH a když neuspěje, může se obrátit se svým sporem k soudu. Orgánem ROH pro smírčí řízení se rozumí závodní výbor základní organizace ROH té organizace, která je příslušná ke stanovení a vyplacení odměny poskytované v souvislosti s vynálezem, zlepšovacím návrhem nebo průmyslovým vzorem. Závodní výbor může pověřit provedením smírčího řízení svou komisí pro hnutí vynálezů a zlepšovatelů, tato komise však musí mít nejméně sedm členů.

Smírčí řízení se zahajuje na návrh občana nebo na návrh organizace. Návrh na zahájení smírčího řízení se podává u smírčího orgánu. Návrh může být podán písemně nebo ústně do protokolu, který sepiše pověřený člen smírčího orgánu nebo pracovník organizace pověřený k tomu smírčím orgánem se souhlasem organizace.

V návrhu je třeba uvést, kdo jej podává, co uplatňuje a proti komu návrh směřuje. Přitom je účelné uvést v návrhu i skutečnosti rozhodné pro jeho posouzení a jak je možno je prokázat. Opis návrhu na zahájení smírčího řízení zašle pověřený člen smírčího orgánu druhému účastníkovi řízení. Účastník může návrh vzít zpět, dokud smírčí orgán neschválil uzavřený smír.

Závěrem bychom měli uvést, jak konkrétně postupovat v tom kterém případě. Obecně lze říci, že zlepšovatelem se může stát každý na svém stupni technického vzdělání a technické úrovni. Nevyžaduje se žádná předchozí kvalifikace, pouze chuť do práce. Vynálezce tví a zlepšovatelství se nevyučuje na žádných školách. Společnost si nejvíce cení a také finančně nejlépe odměňuje návrhy, které přinášejí přímé úspory ve výrobě. Nejvíce než je takový zlepšovacím návrh nebo vynález, který zkrátí jednoduchým způsobem výrobní operaci, který přinese úsporu materiálu, úsporu pracovní síly nebo úsporu vynaložené energie. Ceněné jsou i návrhy zlepšující životní prostředí a zvětšující bezpečnost práce. Je třeba upozornit i na existenci „tematických úkolů“, které ústřední orgány státní správy federace a republik jsou povin-

ny v oborů své působnosti sestavovat a vyhlášovat ve spolupráci s příslušnými orgány ROH. Na sestavování a vyhlášování rezortních plánů tematických úkolů se podílí SSM, ČSTVS a jiné společenské organizace. Tematické úkoly na své úrovni vyhláší i generální ředitelství a drobné úkoly i jednotlivé podniky. Pro tematické úkoly platí vyhláška 102 ze dne 7. prosince 1972, vydaná Úřadem pro vynálezy a objevy. Socialistické organizace a společenské organizace jako je ROH, SSM a ČSTVS jsou povinny usilovat o co nejširší okruh zlepšovatelů a vynálezců. Organizovat jejich kolektivy a pro jejich práci vytvářet všestranné podmínky.

Vyřeší-li řešitel tematický úkol podle souběžných podmínek a vyřešení bylo hodnoceno jako nejlepší, vyhláší orgán nebo organizace jsou povinny vyplatit mu vypsanou zvláštní odměnu. Práva a povinnosti z vyhlášeného tematického úkolu, jako jsou např. peněžitá plnění, musí být vypořádány nejpozději do čtyř měsíců po uplynutí lhůty, stanovené k podání řešení. Tato lhůta může být s ohledem na povahu tematického úkolu a v odůvodněných případech prodloužena. Vyhláší orgán nebo organizace seznámí s výsledkem hodnocení neprodleně všechny řešitele a zároveň veřejně jmenuje stejným nebo jiným stejně účinným způsobem, jakým byl vyhlášen tematický úkol.

Po vyhodnocení se projednají všechny návrhy řešení tematických úkolů jako přihlášky zlepšovacích návrhů s právem přednosti, kdy toto řešení došlo. Není však na překážku skutečnost, že řešitel neprovedl pracovní úkol, vyplývající pro něho z jeho popisu práce, z daného pracovního příkazu, nebo z podmínek a ukazatelů stanovených při zadání pracovního úkolu. Nárok na odměnu za využití takového zlepšovacího návrhu není vyplacením zvláštní odměny za tematický úkol dotčen. Jsou-li předpoklady, že řešení je současně vynálezem, vyhlášovatel doporučí řešiteli podat přihlášku vynálezu a organizace je povinna poskytnout autoru pomoc s jeho podáním (§ 40 zákona o vynálezech). Máme-li tedy nápad, musíme se soustředit na to, jak jej realizovat. Dokonce (jak plyne z uvedeného) můžeme nápad nejprve realizovat a teprve potom jej (ve lhůtě do 3 měsíců) uplatňovat jako zlepšovací návrh. O to, je-li náš nápad původní, se příliš nestaráme. U zlepšovacích návrhů není na závalu, jde-li o řešení známé z literatury, u případného vynálezu je původnost otázkou dalšího řízení. Samozřejmě je, že vědomá nepoctivost v této věci zpravidla přinese potíže, neboť řízení, týkající se původnosti, jsou velice důkladná.

Pokud nedovedeme sami nápad realizovat, musíme alespoň umět realizaci svého nápadu řídit. Teoreticky je sice možné požadovat od organizace technickou pomoc, ovšem tu můžete dostat v zcela jasném případě. Obvykle je nutné spojit se při realizaci zlepšovacího návrhu s lidmi, kteří jsou ochotni se na zlepšovacím návrhu nebo vynálezu „tvůrčím způsobem“ podílet.

Samotné podání zlepšovacího návrhu je formalita. Většinou je vyžadován vyplněný formulář (lze zakoupit v prodejnách SEVT nebo obdržet v racionalizačním oddělení závodu). Obsahuje jméno a adresu autora, název, stručný popis a výkresovou část jako přílohy. Od autora se požaduje i jeho názor na ekonomický přínos, i když samozřejmě není rozhodující. Přihláška se podává vedení podniku, v němž chceme zlepšovacím návrh uplatnit. Záštita nad urychleným a správným projednáním přihlášky má ROH. Přihlášku zlepšovacího návrhu projednává u většiny čs. závodů tzv. racionalizační komise, v níž bývá zástupce vedení podniku (obvykle některý z náměstků), pracovníci oddělení racionalizace práce nebo tzv. patentový referent, techničtí pracovníci jmenovaní vedením podniku a má zde být přítomen i zástupce

závodní rady ROH. Úkolem komise je posoudit zlepšovací návrh, doporučit ho nebo zamítnout.

Komise by měla rozhodnout i o tom, zda lze zlepšovací návrh podat i jako vynález nebo ne. Obvyklým postupem je, že přihlášku, pokud je doporučen zlepšovací návrh racionalizační komisí k přihlášení jako vynález, vynálezce vypíše společně s příslušným odborníkem. Ve větších organizacích jsou odborná střediska pro vynálezy a zlepšovací návrhy, poskytující autorovi již od počátku bezplatnou pomoc. Přesně o tom informuje zákon č. 84/72 Sb. a vyhláška č. 104 ÚVO ze 14. 12. 1972.

Podle definice je vynálezem vyřešení technického problému a je podmíněno novostí a pokrokem vzhledem k existující technice. Také je třeba, aby výrobek, na němž bylo uplatněno nové technické řešení, bylo možno průmyslově vyrábět nebo např. při nové technologii podle ní při výrobě a v provozu postupovat. Vynálezem není myšlenka, ale konkrétní řešení, které ji realizuje.

Objev je nejvyšší formou tvůrčí činnosti. Objev je výsledkem především základního výzkumu. Rozumí se jím stanovení dosud neznámých, ale objektivně existujících jevů, vlastností a zákonitostí materiálního světa. Objevem však nejsou hypotézy (domněnky) ani geologické, geografické, případně archeologické nálezy, které se také někdy nesprávně uvádějí jako objevy. Pan Ohm, tvůrce známého zákona, přišel na závislost mezi elektrickým napětím a proudem. To byl světový objev. Teprve na jeho základě mohl být vynalezen reostat, potenciometr aj. Parní stroj a spalovací motor jsou vynálezy a spolu se souborem dalších byly na jejich základě vytvořeny lokomotiva a automobil.

Přihlášky objevů a vynálezů je třeba vyplňovat společně s odborníky již také proto, že správnost vyplnění přihlášky mnohdy významným způsobem dále ovlivňuje osud objevu a vynálezu.

Zapojení s operačními zesilovači

Právě tak jako elektronky, tranzistor, diody nebo tyristory, patří mezi základní stavební elektronické prvky i operační zesilovače. Operační zesilovač je stejnosměrný rozdílový zesilovač se dvěma souměrnými vstupy. Používal se již v elektronkovém provedení, později i v tranzistorovém. S rozvojem elektroniky se jeho tranzistorovou verzi podařilo integrovat do jednoho pouzdra, takže vznikl nový prvek.

Téměř každý světový výrobce polovodičů vyrábí dnes již několik různých typů operačních zesilovačů (dále jen OZ). TESLA nabízí např. OZ řady MAA501 až 504, MAA725, MAA741, MAA748. V aplikačních schématech kreslíme OZ jako trojúhelník se třemi vývody: invertujícím vstupem, který označujeme jako -, neinvertujícím vstupem označeným +, a výstupem. Zvětšující se kladné napětí na invertujícím vstupu vyvolá zvětšující se záporné napětí na výstupu, stejné napětí na neinvertujícím vstupu vyvolá zvětšující se kladné napětí na výstupu. OZ je „souměrný“, takže pro opačné polarity vstupního napětí dostaneme opačné odezvy výstupního napětí (výstupní napětí může nabývat jak kladných, tak záporných velikostí).

U OZ obvykle také nekreslíme, jak je ostatně u mnohých integrovaných obvodů obvyklé, přívody napájecího napětí, které je

obvykle souměrné, $+U_N$ a $-U_N$. Některé typy OZ mají pomocné výstupy pro nutné vnější kompenzační členy (např. MAA501 až MAA504, MAA748). Také tyto výstupy v obecných aplikacích neuvažujeme, jsou nakresleny jen u konkrétních konstrukcí.

Většina našich úvah předpokládá ideální OZ, který má tyto vlastnosti:

1. Nekonečné zesílení v celém kmitočtovém spektru $A = \infty$.
 2. Nekonečnou vstupní impedanci, $R_{vst} = \infty$.
 3. Nulový výstupní odpor, $R_{vst} = 0$.
 4. Nulové výstupní napětí při zkratu obou vstupů na nulu (střed) napájecího napětí.
 5. Nulové zesílení součtového signálu.
 6. Statická převodová charakteristika $U_3 = f(U_1)$ je přímka, U_1 je vstupní a U_3 výstupní napětí.
 7. Fázový posuv výstupního napětí vůči vstupnímu je 0 nebo π v celém přenosném kmitočtovém pásmu.
 8. Žádný z parametrů nezávisí na změnách teploty a napájecího napětí.
- Potřebující je, že u velké většiny, zejména jednoduchých, aplikací v běžných podmínkách lze při návrhu opravdu počítat s dostatečnou přesností s tím, že skutečný zesilovač nemá o mnoho horší vlastnosti než zesilovač idealizovaný. Přesné údaje najdeme samozřejmě pro ten který typ v katalogu, orientačně lze však říci, že dnes běžné vyráběné OZ mají vstupní odpor 50 k Ω až 2 M Ω , výstupní odpor 50 až 150 Ω a zesílení A_v od 10^4 do 10^6 .

Definice některých základních pojmů

Napětová nesymetrie vstupů je napětí, které se musí přivést mezi vstupní svorky, aby výstupní napětí bylo nulové.

Proudová nesymetrie vstupů je rozdíl proudů do obou vstupů, je-li výstupní napětí nulové.

Vstupní klidový proud je střední hodnota stejnosměrných proudů tekoucích mezi vstupními svorkami a zemí při nulovém vstupním signálu.

Vstupní napětový rozsah je rozsah vstupních napětí, v němž má OZ specifikované funkční vlastnosti.

Činitel potlačení součtového signálu H je poměr vstupního napětového rozsahu k maximální změně napětové nesymetrie v tomto rozsahu.

Číselnost na změnu napájecího napětí je poměr změny napětové nesymetrie vstupů ke změně napájecího napětí.

Maximální diferenční vstupní napětí je takové maximální napětí, které lze připojit na invertující vstup, je-li neinvertující vstup uzemněn.

Maximální dovolená výkonová ztráta je maximální výkon, který může systém OZ rozptýlit za daných, specifikovaných podmínek (zátěž, napájecí napětí), aniž by se nedovoleně zvýšila teplota IO.

Příkon OZ je stejnosměrný příkon dodávaný do obou větví napájení ze stejnosměrného zdroje, potřebný pro činnost OZ při nulovém výstupním napětí, bez zátěže a při dané teplotě.

Průměrný teplotní součinitel napětové (proudové) nesymetrie vstupů je poměr změny napětové (proudové) nesymetrie vstupů k teplotnímu intervalu, v němž změna nastala. Bývá označován také jako **napětový (proudový) drift**.

Vstupní diferenční odpor je odpor mezi vstupní svorkou a zemí, je-li druhá vstupní svorka uzemněna.

Napětové zesílení při otevřené smyčce zpětné vazby je napětové zesílení definované pro

předepsanou zátěž, napájecí napětí a maximálně přípustný, nezkrácený výstupní signál při kompenzované napětové nesymetrii vstupů.

Přechodová charakteristika je odezva OZ na skokové napětí přivedené na vstup, měří se při uzavřené zpětnovazební smyčce. Na přechodové charakteristice definuje dobu čela výstupního impulsu, což je doba potřebná ke zvětšení výstupního napětí z 10 na 90 % ustálené velikosti. Stejně se definuje i překmit výstupního napětí na ustálenou velikost, vyjádřený v % ustálené velikosti.

Některé zásady při používání OZ

1. Operační zesilovače výrobci používají do různých pouzder, běžných pro IO. Některé typy kulatých pouzder (např. TO-5) mají kovové čepičky. Potom je obvyklé, že tato čepička slouží jako stínění a je spojena s některým vývodem OZ. Např. u typů TESLA MAA501, 502 a 504 je čepička pouzdra vodič spojena se záporným pólem napájení, tj. vývodem 4. Při konstrukčním uspořádání musíme s touto skutečností počítat.

Běžné operační zesilovače nevyžadují žádné přídavné chladiče.

2. Napájení OZ je obvykle souměrné, $+U_N$ je rovno $-U_N$ a zemní svorku a střed souměrnosti tvoří střed napájecího zdroje. Napájecí napětí je samozřejmě pro ten který typ OZ různé, obvykle se však pohybuje v rozmezí ± 5 až ± 30 V. V méně náročných aplikacích je možné používat k napájení OZ i nestabilizované napětí, neboť prakticky všechny vyráběné OZ samy potlačují vliv kolísání napájecího napětí.

Je obvyklé, že u většiny aplikací OZ se k vývodům pro napájení připojují ještě dodatečné filtrační kondenzátory, např. v obr. 1d kondenzátory C_4 a C_5 . Jako filtrační kondenzátory je vhodné volit bezindukční kondenzátory keramické s malou kapacitou obzvláště v aplikacích, v nichž by se mohly vyskytnout ní nebo vř. vazby mezi jednotlivými zesilovacími stupni přes obvody napájení.

Je-li zařízení napájeno z baterií nebo připojitelného vnějšího zdroje, je možné ochránit OZ před zničením přepólováním napájecího napětí přídavnými diodami D_1 a D_2 , vloženými do napájecích větví (viz obr. 1d). Mnohdy stačí pouze jedna dioda (buď D_1 nebo D_2).

3. Někteří výrobci používají u OZ výstupy pro pasivní součástky, které je nutno připojit, a které zároveň slouží jako kmitočtová kompenzace. Údaje těchto součástek je nutno vyhledat v katalogu. Často užívaný OZ TESLA MAA501 až 504 používá pro vnější kompenzaci výstupy 1, 5 a 8. Typické zapojení doporučené výrobcem je na obr. 1d, kompenzaci tvoří C_1 , C_2 a R_1 . Je nutno upozornit, že toto zapojení kompenzačních

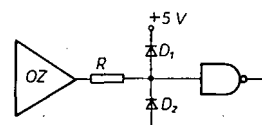
členů je sice typické a nejvíce používané, ale ani u uvedeného konkrétního OZ není jediným možným řešením kompenzace.

4. Vstupy OZ se před zničením zvětšeným vstupním napětím ochrannými omezo-
vacími odpory R_1 a R_2 (jako je to na obr. 1a) obvykle nechraňují, protože odpory by mohly mít vliv na funkci OZ. Obvykle se k ochráně vstupů používají Zenerovy diody nebo křemíkové diody v kombinaci s omezo-
vacími odpory. Např. podle obr. 1b je napětí na obou vstupech omezeno velikostí Zenerova napětí obou diod. Pro kladnou periodu přetěžovacího napětí je určena dioda D_1 – začne pracovat, když napětí na vstupu překročí její napětí U_Z . Záporné napětí, které by mohlo přetížít vstupy, omezuje dioda D_2 . Funkčně podobné je antiparalelní zapojení dvou křemíkových diod D_1 a D_2 na obr. 1c. Využívá skutečnosti, že křemíkovou diodou do napětí asi 0,7 V protéká malý proud. Na takto chráněné vstupy OZ lze tedy přivést napětí maximálně $\pm 0,7$ V, napětí větší je těmito diodami omezeno. Při konkrétním návrhu nesmíme zapomenout, že jak na obr. 1b, tak na obr. 1c protéká ochrannými diodami při překročení max. vstupního napětí „plný“ proud. Proto podle charakteru zdroje signálu pro OZ musíme i zde použít odpory, které tento proud omezí na úroveň, která diody nepoškodí.

Teoreticky lze chránit vstupy OZ i tak, že Zenerovy nebo křemíkové diody zapojíme mezi vstupy a nulový potenciál (zem) zdroje. Tato alternativa se však v praxi používá jen velmi zřídka.

5. Před zkratem na výstupu ochraňujeme OZ obvykle zařazením malého sériového ochranného omezo-
vacího odporu, obvykle 47 Ω až 1 k Ω podle charakteru zátěže i podle toho, může-li mít zkrat trvalý, nebo jenom impulsní charakter. Pokud připojujeme zpětnou vazbu z výstupu na vstup, připojujeme zpětnovazební impedanci až za tento omezo-
vací odpor. V aplikacích, v nichž se uplatňuje výstupní odpor OZ, musíme k němu hodnotu R_2 (obr. 1d) přičíst.

6. Potřebujeme-li přizpůsobit výstup OZ např. k logice TTL, užijeme zapojení podle obr. 2. Předpokládá se samozřejmě, že jde



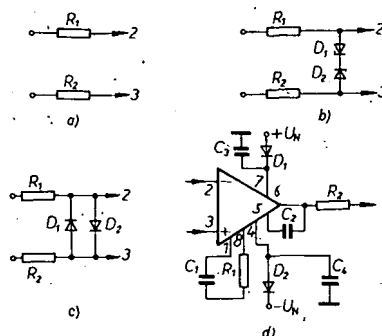
Obr. 2. Přizpůsobení výstupu OZ k logice TTL

o impulsní režim – na vstupu hradla je buď log. 1 (tj. +5 V), je-li na výstupu OZ maximální kladné napětí, nebo log. 0 (tj. asi 0,7 V). Úroveň log. 0 je dána diodou D_2 , která omezuje záporné napětí na úroveň $-0,6$ až $-0,8$ V. Odpor R je omezo-
vací, asi 500 Ω , obě diody jsou běžné křemíkové typy.

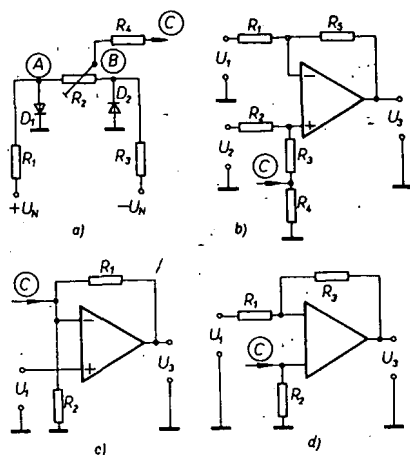
Kompenzace napětové nesymetrie vstupů OZ

V aplikacích, v nichž se zesilují tak malé signály a úrovně napětí, že se vůči nim uplatňuje napětová nesymetrie vstupů, zavádí se obvykle dodatečná vnější kompenzace napětové nesymetrie.

Teoreticky lze kompenzaci napětové nesymetrie vstupů zavést téměř v každé aplikaci OZ, nicméně si musíme uvědomit, že připojení dalších pasivních prvků na vstupy OZ zhoršuje jeho vlastnosti, zejména vstupní odpor, v některých případech se impedance prvku kompenzace přičítá i hodnotám prvků zpětné vazby apod.



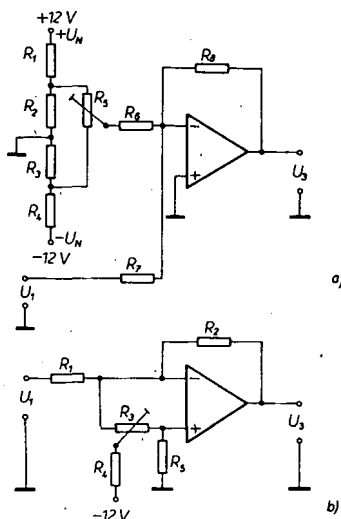
Obr. 1. Připojení pasivních ochranných prvků k OZ



Obr. 3. Kompence vstupní napěťové nesymetrie; a) jedno z možných zapojení vnějšího kompenzačního zdroje, b) připojení kompenzačního napětí, c) připojení kompenzačního napětí u neinvertujícího OZ, d) připojení kompenzačního napětí u invertujícího OZ

Jedno z neobvyklejších zapojení je na obr. 3a. Je to v podstatě zdroj souměrného napětí $\pm 0,7$ V, které je dodatečně stabilizováno diodami D_1 a D_2 . Toto kompenzační napětí se přivádí do bodu C na obr. 3b, c, d – podle toho, jde-li o zapojení invertujícího nebo neinvertujícího OZ. Obvod souměrného stabilizovaného napětí je napájen přes odpory R_1 a R_3 ze zdroje $\pm U_N$, který napájí také OZ. Křemíkové diody, např. KA501 nebo KY701, napětí U_N stabilizují. Trimrem R_2 se obvod nastaví tak, aby na výstupu OZ bylo při nulovém vstupním signálu nulové napětí U_3 . Typické optimální hodnoty součástek, obrázek 3a: $R_1 = 22$ k Ω , $R_2 = 100$ k Ω , $R_3 = 22$ k Ω , $R_4 = 220$ k Ω , D_1 a $D_2 =$ KA501 při napájení $U_N = \pm 10$ až ± 15 V. Doporučené optimální hodnoty součástek pro zapojení na obr. 3b: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1$ k Ω , $R_5 = 100$ k Ω , pro obr. 3c: $R_1 = 100$ k Ω , $R_2 = 1$ k Ω a pro obr. 3d: $R_1 = R_2 = 1$ k Ω a $R_3 = 100$ k Ω .

Je-li napájecí napětí $\pm U_N$ dobře stabilizované, lze kompenzační napětí odvodit z tohoto napětí pouhým odporovým děličem, jak je to znázorněno např. na obr. 4a. Prohlédneme-li si schéma zjistíme, že tento způsob je pouze jednodušší analogií předchozího řešení. Při $U_N = \pm 12$ V a $R_7 = 1$ k Ω

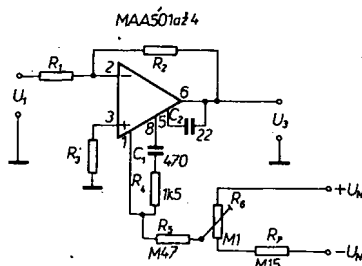


Obr. 4. Jiný způsob kompenzace vstupní napěťové symetrie

a $R_6 = 100$ k Ω , jsou orientační hodnoty ostatních součástek: $R_1 = R_4 = 10$ k Ω , $R_2 = R_3 = 510$ Ω . Nastavovací trimr kompenzace $R_5 = 10$ k Ω a odpor $R_6 = 47$ k Ω . Volba součástek se řídí zásadou, že odpor R_6 má být mnohem větší než R_7 . Dělič napětí složený z kaskády odporů R_1 až R_5 pak má mít co nejmenší odpor, ale ovšem tak velký, aby nebyl přetěžován zdroj napájecího napětí $\pm U_N$.

Na obr. 4b je další z možných variant pomocného zdroje pro kompenzaci napěťové nesymetrie. Zde platí tatáž zásada jako v předchozích případech: dodatečnými součástkami připojeními ke vstupním svorkám co nejmeně ovlivnit základní parametry OZ. Trimr R_3 má mít mnohem větší odpor než R_1 . Pro $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 100$ k Ω , $R_5 = 1$ k Ω jsou vhodné tyto kompenzační členy: $R_3 = 40$ k Ω , $R_4 = 840$ k Ω .

U některých typů OZ, které mají vývody pro vnější kmitočtovou kompenzaci, lze využít těchto vývodů i ke kompenzaci napěťové nesymetrie vstupů. Příkladem je např. MAA501 až 504, u nichž lze zavést kompenzační napětí do vývodu 1, což je přímo báze vnitřního tranzistoru, který tvoří zdroj proudu. Z toho na druhé straně však vyplývá, že můžeme přivedením většího vnějšího napětí na tento vstup celý OZ poškodit. Výhodou této kompenzace (obráz. 5) je, že se po



Obr. 5. Kompence napěťové nesymetrie u MAA501 až 504

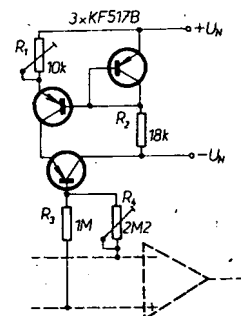
připojení kompenzačních prvků prakticky nemění vlastnosti OZ, ani neovlivňují jmenovité hodnoty pasivních členů, připojených k OZ, které tvoří vnější zpětnou vazbu (R_1 , R_2 a R_3). V zapojení pro běžné napájecí napětí $U_N = \pm 12$ V lze použít tyto součástky: $R_5 = 470$ k Ω , trimrem $R_6 = 100$ k Ω nastavíme nulové výstupní napětí U_3 při nulových vstupních signálech, $R_7 = 150$ k Ω .

Kompence vstupní proudové nesymetrie

Nejprve si uveďme, kdy kompenzujeme napěťovou nesymetrii a kdy proudovou nesymetrii. Kompensaci klidových proudů používáme v případech, kdy převažuje účinek klidových proudů tak, že vzniká jejich úbytkem parazitní napětí na velkých odporech, zapojených na svorkách OZ. Používáme-li takové aplikační zapojení, u něhož jsou vstupní odpory stupně relativně malé, převládá vliv napěťové nesymetrie – pak použijeme kompenzaci napěťové nesymetrie popsanou v předchozím odstavci.

Nejprimitivnějším způsobem kompenzace proudové nesymetrie je úprava odporů mezi vstupními svorkami tak, aby se proudová nesymetrie kompenzovala „jaksi automaticky“. Toto primitivní opatření nelze většinou použít, proto se používají vnější přídavné členy. Jedno z možných zapojení je na obr. 6.

Uvádí se, že jím lze zmenšit (potlačit) vliv proudové nesymetrie 20 až 40krát. Nevýhodou je nutnost individuálního nastavení každého OZ a také relativní složitost. Kompensaci na obr. 6 nastavujeme takto: odpojíme od OZ všechny členy zpětné vazby, svorku



Obr. 6. Kompence proudové nesymetrie

vstupu + uzemníme a mezi vstup – a výstup připojíme paralelní člen RC, $C = 220$ pF a $R = 4,7$ M Ω . Pak nastavíme trimrem R_1 nulové výstupní napětí. Dělič odpojíme a tentýž paralelní člen RC zapojíme mezi vstup – a zem (0 V zdroje). Na vstup + připojíme odpor 2,2 k Ω , který druhým koncem připojíme na výstup OZ. Nyní nastavíme opět nulové napětí na výstupu OZ trimrem R_4 . Tím je kompenzace nastavena a zbývá odpojit pomocné prvky členu RC od vstupu – včetně odporu 2,2 k Ω a kapkou laku aretovat oba nastavovací trimry R_1 a R_4 . Pak připojíme prvky zpětné vazby a obvod s OZ je nastaven.

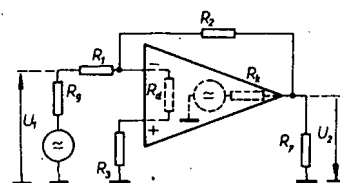
Invertující OZ

Jde o jedno ze základních zapojení OZ. Invertující se nazývá proto, že výstupní napětí U_3 má proti vstupnímu napětí opačné znaménko a fázový posuv 180°. Invertující zesilovač je v tomto zapojení souměrný jak z hlediska vstupu, tak výstupu. Může pracovat s kladným i záporným vstupním napětím, které má pochopitelně na výstupu odezvu jako záporné a kladné napětí, jeho velikost je úměrná vstupnímu napětí a zesílení A_u , které je dáno velikostí zpětné vazby. Meze vstupního a výstupního napětí jsou dány katalogovými údaji příslušného OZ. Tento zesilovač pracuje stejným způsobem se stejnosměrným i střídavým signálem až do mezního kmitočtu použitého OZ.

Základní zapojení invertujícího OZ je na obr. 7. Vlastnosti tohoto zapojení v případě ideálního OZ určují pouze dva odpory R_1 a R_2 , které představují velikost záporné zpětné vazby. Invertující zesilovač se chová jako téměř ideální zdroj napětí. Této vlastnosti se mimo jiné využívá i v zapojeních elektronických referenčních zdrojů.

Předpokládáme-li ideální OZ, který má nekonečné zesílení, nekonečný vstupní odpor a nulový výstupní odpor, platí ve velkém rozsahu, že zesílení OZ jako invertujícího zesilovače je:

$$A = \frac{U_3}{U_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$



Obr. 7. Invertující operační zesilovač

Přitom předpokládáme, že vnitřní odpor R_g napájecího zdroje je mnohem menší než odpor R_1 . Pokud tomu tak není, je nutno s odporem R_g počítat, protože přímo ovlivňuje zesílení invertujícího stupně OZ:

$$A = - \frac{R_2}{R_1 + R_g}$$

Vstupní odpor invertujícího OZ je za zjednodušených podmínek ideálního OZ přibližně roven odporu R_1 . Výstupní odpor by u ideálního OZ s nekonečným zesílením byl nulový. V konkrétním zapojení je:

$$R_{\text{vst}} = \frac{R_K}{A_{SK}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right),$$

kde R_K je katalogový vstupní odpor a A_{SK} je skutečné napětové zesílení použitého OZ. Výstupní odpor uvedeného zapojení je relativně malý. Odpor R_3 pomáhá vyrovnávat nesymetrii vstupů OZ a je ho vhodné volit takto:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

ve většině aplikací používáme R_2 mnohem větší než R_1 , takže potom se předchozí výraz vlastně zjednoduší na $R_3 \approx R_1$.

Konkrétní případ: Požadujeme zesílení $A = 40$ dB při $R_g = 0$. Volíme $R_1 = 1$ k Ω . Pak vychází $R_2 = AR_1 = 100$ k Ω a $R_3 = 1$ k Ω . Vstupní odpor je přibližně 1 k Ω . Použijeme-li např. MAA501 a $U_N = \pm 15$ V, je maximální vstupní napětí ± 140 mV a maximální výstupní napětí $U_3 = \pm 14$ V. Je-li typická napětová nesymetrie na vstupu 2 mV, projeví se tato vlastnost na výstupu jako možná odchylka o velikosti 200 mV – to je při výstupním napětí např. 10 V změna 2 %. Změnu můžeme zmenšit dodatečnou kompenzací napětové nesymetrie vstupů některým ze způsobů, popsaných v předchozím odstavci.

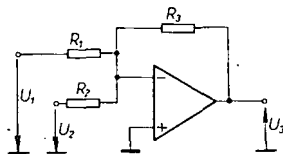
Sčítací zesilovač

Invertující zesilovač lze použít i jako tzv. sumační nebo sčítací zesilovač podle obr. 8. Vlastnosti invertujícího zesilovače zůstávají zachovány, výstupní napětí má opačné znaménko než napětí vstupní. Sčítací zesilovač podle obr. 8. má přenos:

$$U_3 = -R_3 \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right),$$

přičemž může pracovat i tehdy, mají-li vstupy různou „váhu“, což je v praxi různá hodnota odporů R_1 a R_2 . Vstupů může být i větší množství, každé vstupní napětí může být jinak zesilováno a sčítáno podle toho, jak zvolíme příslušný vstupní odpor podle vzorce:

$$U_3 = -R_3 \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right),$$



Obr. 8. Sčítací zesilovač

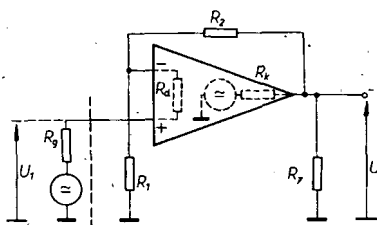
kde U_n je vstupní napětí na n ém vstupu a R_n je odpor, zapojený stejně jako R_1 nebo R_2 v n ém vstupu OZ.

Jako u invertujícího zesilovače i v tomto případě musíme vždy počítat s vnitřním odporem zdrojů napětí U_1, U_2 až U_n , který je nutno k R_1, R_2 až R_n přičíst.

Neinvertující zesilovač

Jde o jedno z nejzákladnějších zapojení OZ. Výstupní napětí není vůči vstupnímu napětově fázově posunuto, fázový posuv ideálního zapojení neinvertujícího operačního zesilovače je tedy 0. Výstupní napětí má stejnou polaritu jako vstupní napětí a zvětšuje se úměrně zvětšujícímu se vstupnímu napětí. Zvětšuje-li se vstupní napětí směrem ke kladným velikostem, zvětšuje se výstupní napětí také do kladných velikostí. Pro opačnou polaritu vstupního napětí platí totéž, zvětšuje-li se na vstupu napětí směrem k záporným velikostem, zvětšuje se stejným způsobem i napětí na výstupu. Zapojení je také dokonale souměrné, pracuje stejně se záporným i kladným vstupním signálem a se stejnosměrným i střídavým napětím až do mezního kmitočtu použitého OZ.

Typické zapojení neinvertujícího zesilovače je na obr. 9. Uvažujeme-li ideální OZ,



Obr. 9. Neinvertující zesilovač

u něhož se zesílení blíží nekonečnu, je jeho vstupní odpor nekonečný a výstupní odpor nulový. Zesílení neinvertujícího stupně:

$$A = \frac{U_3}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Nelze-li skutečné zesílení A_{SK} OZ vůči zvolenému zesílení stupně A zanedbat, musíme zesílení neinvertujícího stupně A opravit podle vztahu:

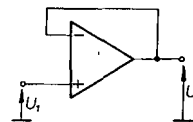
$$A = \frac{A_{SK}}{1 + A_{SK} \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Vstupní odpor uvedeného zapojení neinvertujícího OZ:

$$R_{\text{vst}} = \frac{A_{SK} R_1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

tzn., že v případě ideálního OZ se blíží k nekonečnu. V praxi u běžných OZ je R_{vst} v tomto zapojení řádu desítek megaohmů.

Pro srovnání si zvolme jako praktický příklad zapojení opět stejné podmínky jako v případě invertujícího zesilovače: zesílení $A = 40$ dB. OZ typu MAA501, napájení $U_N = \pm 15$ V. Odpor R_1 zvolíme 100 Ω . Odpor R_2 vypočteme z uvedených vztahů, $R_2 = 10$ k Ω . Vstupní odpor zapojení je přibližně 30 M Ω . Typický vstupní klidový proud (kolísá podle použitého OZ) je 0,3 μ A. Maximální vstupní napětí U_1 může být při nulovém odporu generátoru ± 140 mV. V tomto zapojení OZ se nepříjemným způsobem uplatňuje proudová nesy-



Obr. 10. Impedanční přizpůsobovací člen

metrie vstupů, kterou navíc může ovlivnit nepříznivým způsobem i vnitřní odpor generátoru. Ve výpočtu je třeba tento odpor sečíst s odporem R_1 .

Jednou z variant zapojení tohoto zesilovače je i zapojení na obr. 10, kde se odpory R_1 i R_2 rovnají nule. Toto zapojení se používá jako impedanční oddělovací člen, neboť má velký vstupní odpor řádu desítek megaohmů, zesílení 1, teoretický fázový posuv 0, výstupní odpor se blíží 0. Zapojení se chová jako zdroj konstantního výstupního napětí, které je přímo úměrné napětí vstupnímu. Dovolený zatěžovací odpor je určen použitým typem OZ.

Derivační zesilovač

Derivovat elektrický signál je jedna z častých úloh v elektronice. Odpovídá matematické operaci – derivaci sinusového průběhu dostaneme signál kosinový, derivaci signálu pravouhlého průběhu špičky úměrné strmosti náběžných a sestupných hran, první derivaci dráhy podle času je rychlost, druhou derivaci dráhy podle času je zrychlení atd. Běžné je realizovat derivační obvod členem RC, u něhož ovšem musíme respektovat jeho konečnou vstupní a výstupní impedanci.

Derivační člen s OZ má v tomto směru mnohem výhodnější vlastnosti. Derivátor na obr. 11 je zapojen velmi podobně jako invertující zesilovač, pouze místo vstupního odporu je připojen kondenzátor C . Zapojení tak získá vlastnosti obvodu s velkým vstupním odporem (pro ss signál) a výstupním odporem daným použitým OZ. Připojená zátěž nebo další následující stupeň vlastnosti derivace již neovlivňují.

Proud kondenzátorem je

$$I_C = C \frac{du_1}{dt},$$

je-li vstupní proud do invertujícího vstupu OZ vůči tomuto proudu zanedbatelný, musí se I_C přenést přes odpor R na výstup OZ.

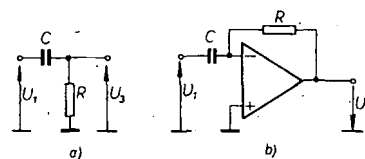
Na výstupu OZ je pak

$$U_3 = -I_C R = -RC \frac{du_1}{dt},$$

což je napětí úměrné první derivaci vstupního napětí U_1 .

Integrační zesilovač

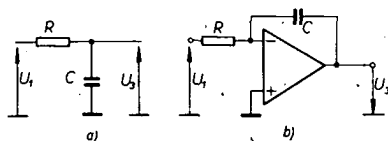
Právě tak jako je velmi často nutno průběh elektrického signálu derivovat, vyskytuje se i potřeba signál integrovat. Integrační člen změní průběh napětí analogicky matematické operaci, nazývané integrace. Právě tak



Obr. 11. Derivační zesilovač; a) derivační obvod realizovaný členy R a C , b) derivační obvod realizovaný OZ

jako v matematických výrazech, které lze integrovat i několikrát za sebou, můžeme i v elektronice zařazovat, pokud to má smysl, integrační členy do série a dostaneme v pořadí první, druhý až n též integrál původního elektrického průběhu. Např. první integrál impulsu pravoúhlého průběhu je stejnosměrné napětí, jehož velikost je úměrná délce trvání jednotlivých impulsů, jejich napětí a kmitočtu. Matematicky je to vlastně plocha, kterou „pokryjí“ časově rozvinuté impulsy nad časovou (vodorovnou) osou. Pro představu elektrické funkce si můžeme uvědomit, že integrátor je základem každého analogového měřicího kmitočtu. Měřený kmitočet převedeme na impulsy o konstantním napětí a konstantní šířce. Potom je výstupní stejnosměrné napětí integrátoru úměrné změně kmitočtu. Těto úvaze přesně odpovídá také geometrická představa. Při konstantní výšce a šířce impulsů je plocha nakreslených impulsů přímo úměrná pouze jejich kmitočtu.

Nejjednodušším integračním členem je kombinace RC, zapojená podle obr. 12a. „Integrátor“ s operačním zesilovačem na



Obr. 12. Integrační zesilovač; a) integrační obvod realizovaný členy R a C, b) integrační obvod realizovaný OZ

obr. 12b je samozřejmě dokonalejší. Pro danou úlohu můžeme použít menší kapacitu kondenzátoru, lineárta integrace je zaručena ve velmi širokém rozsahu. Integrátor má malý výstupní odpor a jeho činnost není ovlivňována charakterem zátěže. Vstupní odpor R je však odporem generátoru vstupního signálu ovlivňován a vnitřní odpor generátoru musíme k odporu R při výpočtu přičíst.

Pro výstupní napětí platí vztah:

$$U_2 = -\frac{1}{\tau} \int u_1 dt,$$

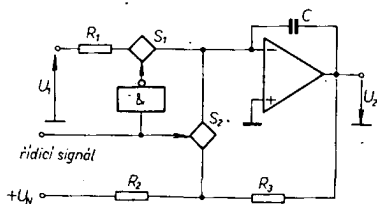
kde τ je časová konstanta RC .
Pro dolní použitelný kmitočet platí:

$$f_d = \frac{1}{2\pi\tau}$$

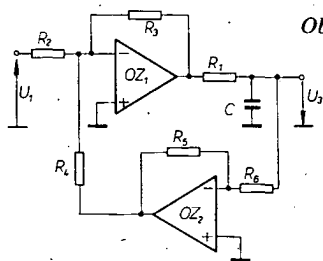
Na obr. 13 je příklad řízeného integrátoru, u něhož logickým signálem řídíme dobu integrace (spínač S_1) a nastavení počátečních podmínek. Pokud je možnost nezávisle ovládat spínače S_1 a S_2 , jsou možné tři režimy činnosti: integrace, nastavení počátečních podmínek a paměť (S_1 i S_2 rozpojeno).

Integrátor s kladnou zpětnou vazbou je na obr. 14. Používá dva OZ, první pracuje jako sumátor, druhý – OZ₂ – jako invertor. Obecně se tímto uspořádáním upraví původní časová konstanta integračního článku

$$\tau_0 = \frac{1}{1-A}, \text{ kde } A \text{ je zesílení OZ.}$$



Obr. 13. Integrátor s řízenou dobou integrace



Obr. 14. Integrátor s kladnou zpětnou vazbou

Přenos je dán vztahem:

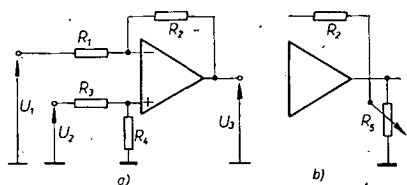
$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_3}{R_2} \frac{1}{1 + p\tau - \frac{R_5 R_3}{R_6 R_4}},$$

kde p je Laplaceův operátor, τ časová konstanta ($= R_1 C$). Předpokládali jsme, že R_6 je mnohem větší než R_1 a zároveň má platit, že

$$\frac{R_5 R_3}{R_6 R_4} = 1.$$

Diferenční zesilovač

Na obr. 15a je souměrné zapojení diferenčního nebo také rozdílového zesilovače, které pracuje jak se stejnosměrnými, tak střídavými vstupními signály. Výstupní napětí



Obr. 15. Diferenční zesilovač; a) základní zapojení, b) způsob regulace zesílení diferenčního zesilovače

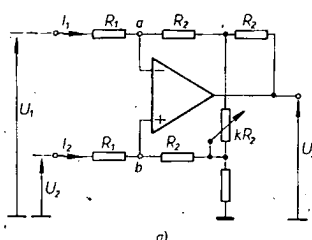
U_3 je superpozicí příspěvků dílčích vstupních napětí U_1 a U_2 ; přenos zapojení je určen vztahem:

$$U_3 = (U_2 - U_1)A,$$

kde A je zesílení uvedeného stupně rovné

$$A = \frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1},$$

přičemž vztah mezi čtyřmi odpory R_1 až R_4 určuje jejich nutný vzájemný poměr, aby zůstala zachována souměrnost zapojení. V praxi se obvykle tato podmínka dodržuje. Pokud je poměr odporů různý, je také různé zesílení A každého ze vstupů. Je-li zapojení skutečně souměrné, musí být výstupní napětí nulové, přivedeme-li na oba vstupy signál o stejném napětí a fázi. Případnou nesymetrii může způsobovat jak sám OZ, tak nepřes-



Obr. 16. Jiná varianta diferenčního zesilovače (a) a jeho náhradní obvod (b)

nost volby odporů R_1 až R_4 . Protože nelze dost dobře měnit zesílení změnou některého z uvedených odporů, aniž by se neporušila souměrnost zapojení, je obvyklé, že regulační potenciometr zesílení R_5 se zapojuje způsobem znázorněným na obr. 15b. Výhodou je, že změnou R_5 v praxi neměníme žádnou z vlastností celého diferenčního stupně. Při zesilování malých signálů je další výhodou skutečnost, že jeden z konců potenciometru R_5 je uzemněn.

V tomto zapojení se uplatňují ve vzorci pro zesílení A i vnitřní odpory zdrojů napětí U_1 a U_2 , jejichž hodnoty je nutno přičíst k hodnotám odporů R_1 a R_3 .

Jiné zapojení diferenčního stupně s jedním OZ a možností změny zisku jedním prvkem je na obr. 16a. Jeho přenos a funkci lze určit z náhradního schématu na obr. 16b. Zjednodušený výpočet podle tohoto schématu vychází z úvahy, že rozdíly vstupních napětí a tedy i rozdíly napětí v bodech A, B jsou malé a proudy do vstupů zesilovače jsou zanedbatelné.

Pak $U_1 - R_1 I_1 = U_2 - R_1 I_2$

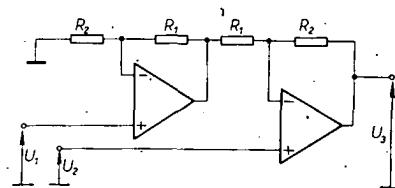
a z toho přenos:

$$U_3 = 2 \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{k}\right) (U_2 - U_1),$$

kde k je činitel určující, kolikrát je odpor potenciometru větší než R_2 .

Pro náročnější aplikace tato zapojení nevyhovují. Využívá se obvykle zapojení s větším počtem aktivních prvků, obvykle s několika OZ. Pak se dosáhne velkého vstupního odporu řádu desítek megaohmů, který je obvykle daleko větší než vnitřní odpor zdrojů napětí U_1 a U_2 . I zde je zcela obvyklé, že se volí souměrné zapojení, např. podle obr. 17. Pro jeho přenos platí vztah:

$$U_3 = (U_2 - U_1) \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$



Obr. 17. Diferenční zesilovač s velkým vstupním odporem

Měnit zisk plynule jedním nastavovacím prvkem v tomto zapojení nelze.

Mezi nejdokonalější diferenční zesilovače patří varianty, které se v literatuře také někdy označují jako přístrojové zesilovače. Zapojení existuje několik desítek různých druhů. Základní dva představitele přístrojových zesilovačů si uvedeme dále. Nejprve rozbor zapojení podle obr. 18. V bodě A je napětí:

$$U_A = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_2 \frac{R_2}{R_1}$$

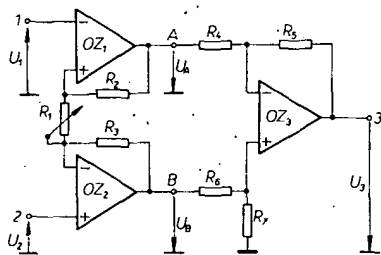
V bodě B je napětí:

$$U_B = U_2 \frac{R_1 + R_3}{R_1} - U_1 \frac{R_3}{R_1}$$

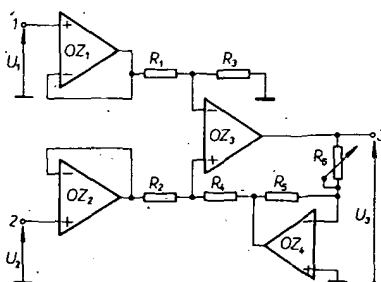
Je-li $R_2 = R_3$ a jsou-li odpory R_4 až R_7 stejné, platí pro výsledný přenos

$$U_3 = U_B - U_A = (U_2 - U_1) \left(1 + \frac{2R_5}{R_1}\right)$$

Výhodou zapojení je velký vstupní odpor řádu desítek megaohmů a možnost řídit zisk jediným odporem R_1 . Součtovou chybu vzniklou nesouměrností použitých součástek v zapojení lze potlačit experimentální změnou odporu R_7 .



Obr. 18. Diferenční zesilovač známý pod názvem „přístrojový zesilovač“

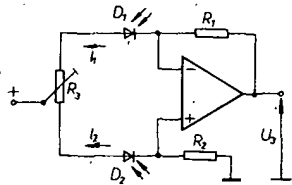


Obr. 19. Varianta diferenčního přístrojového zesilovače

Varianta přístrojového zesilovače na obr. 19 má podobné vlastnosti. Velký vstupní odpor zapojení zaručují OZ1 a OZ2, které jsou zapojeny jako zesilovače. Pomocí OZ4 změnou jediného nastavovacího prvku R_6 lze měnit zisk celého zapojení, přičemž souměrnost a součtová chyba zůstávají konstantní. Je-li $R_1 = R_2 = R_3$ a $R_4 = R_5 = R_6$, platí pro přenos

$$U_3 = \frac{R_6}{R_5} (U_1 - U_2)$$

Zapojení na obr. 20 umožňuje vyhodnocovat rozdíl mezi dvěma světelnými toky Φ



Obr. 20. Fotoelektrický diferenční zesilovač

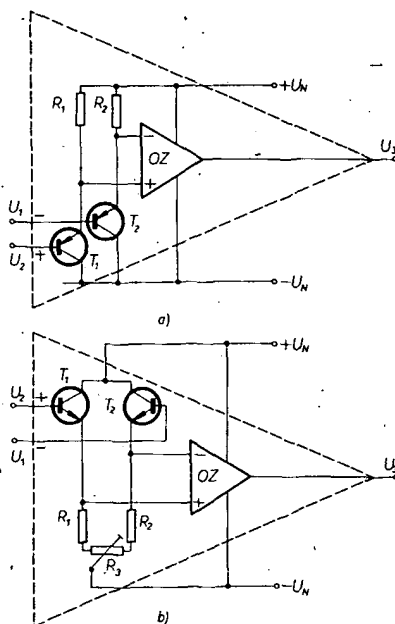
a Φ_2 (dopadající na dvě fotodiody D_1 a D_2) jako změnu výstupního napětí U_3 . Elektrický přenos tohoto zapojení vyjádříme nejlépe pomocí proudů I_1 a I_2 , které jsou úměrné světelným tokům. Pak pro přenos platí

$$U_3 = R(I_2 - I_1)$$

Výhody uvedeného zapojení jsou nasnadě. Máme-li pro měření úrovně světlo-tma k dispozici jenom jeden fotoelektrický prvek, musí za zesilovačem proudů úměrného světlu následovat ještě napěťový komparátor – v zapojení na obr. 20 tento rozhodovací člen odpadá. Tmu nebo světlo zapojení „pozná“ podle světelného toku dopadajícího na obě čidla, a zapojení pak produkuje kladné nebo záporné napětí U_3 na výstupu OZ.

Obvody pro zvětšení vstupní impedance OZ, elektrometrické zesilovače

Obecně lze vstupní impedance OZ zvětšit připojením dvou souměrně zapojených tranzistorových emitorových sledovačů na vstupní svorky. Na celek se pak díváme jako na OZ, u něhož jsou vstupy (báze) tranzistorů T_1 a T_2 vstupy upraveného („nového“) OZ. Celek lze použít v libovolných aplikacích, zpětné vazby a pasivní prvky připojujeme na nově vzniklé vstupy, na báze tranzistorů. Praktický význam tohoto zapojení je však spíše tam, kde potřebujeme pracovat s většími signály (řádu jednotek voltů), které by původní vstupy OZ již mohly poškodit. Na obr. 21 jsou dvě ekvivalentní zapojení. Zapojení na obr. 21a používá tranzistory p-n-p; v originálu byl použit OZ typu $\mu A710$, $R_1 = R_2 = 62 \text{ k}\Omega$. Oba použité tranzistory by měly být shodné se stejným zesilovacím činitelem ($T_1 = T_2 = \text{BFX36}$). V druhé al-



Obr. 21. Obvody pro zvětšení vstupní impedance a odolnosti vstupů OZ

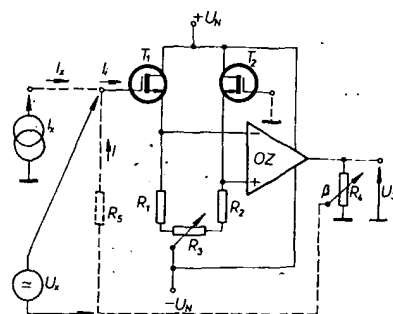
ternativě (obráz. 21b) byly použity tranzistory n-p-n typu $T_1 = T_2 = \text{BFY81}$, $R_1 = R_2 = 62 \text{ k}\Omega$ a navíc je připojen odpor $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, který slouží k vyrovnaní souměrnosti obou tranzistorů emitorového sledovače.

Skutečného a velmi podstatného zvětšení vstupní impedance dosáhneme při zapojení, kdy tranzistory z předchozího případu nahradíme typy MOSFET. Dostaneme tak zesilovač, který má již právo nazývat se zesilovačem elektrometrickým. Lze ho používat pro měření nebo zesilování napětí prakticky bez zatížení zdroje signálu, nebo pro měření či zesilování extrémně malých proudů v rozmezí 10^{-9} až 10^{-16} A . Z hlediska stability, velikosti i dalších parametrů je takový zesilovač lepší než dříve používané elektronkové elektrometrické zesilovače. Pamětníci vědí, že elektrometrická elektronika byla obvykle speciálně konstruovaná trioda, s řídící mřížkou vyvedenou na čepičku místo na patici, aby se vyloučily svodové odpory a zamezilo vlivu relativně velkého napájecího anodového napětí, které elektronka potřebovala pro svoji funkci.

Samozřejmě, že i u dnešního elektrometrického OZ musíme při konstrukci se svodovými odpory počítat, nutno však říci, že vzhledem k používání skelných laminátů na deskách s plošnými spoji a malých napájecích napětí jsou problémy nyní menší. Při konstrukci musíme navrhovat také umístění součástek, aby svodové odpory byly co nejmenší. Lze upozornit i na to, že se při zesilování extrémně malých proudů nebo při měření elektrických potenciálů na plochách izolantů vnáší do měření chyby, které vznikají na základě jevů, které v běžné elektronice vůbec neuvažujeme. Je to například termoelektrické napětí vznikající na vývodech pouzdra OZ, polarizace kyslíčnickové vrstvy v elektrickém poli u tranzistorů MOSFET, která způsobuje, že se kolektorový proud ustálí až po několika desítkách minut po zapnutí atd.

Elektrometrický OZ je velmi potřebná elektronická součástka a proto se vyrábí i jako integrovaný hybridní obvod – oba MOS FET a operační zesilovač jsou uloženy v jednom pouzdře. U nás se vyrábějí např. typy (TESLA Lanškroun): WSH217, vstupní proud asi 5 pA , WSH220, vstupní proud asi 5 pA , dynamické parametry jako MAA741, WSH218, vstupní proud asi 1 pA , WSH219, vstupní proud asi $0,2 \text{ pA}$, dynamické parametry jako MAA725, WSH223 pro extrémně malé proudy řádu 10^{-14} A .

Amatérsky lze elektrometrický zesilovač postavit z OZ a dvou tranzistorů MOS – zapojení, které je na obr. 22. Tento elektrometrický stupeň můžeme použít jako zesilovač proudu nebo napětí. Změnou odporu R_3 v obou případech nastavujeme hodnotu výstupního napětí při nulovém vstupním napětí. Zesilované napětí U_x přivádíme paralelně k odporu R_5 , jehož hodnota má být větší, než je hodnota



Obr. 22. OZ s tranzistory MOS – jako elektrometrický zesilovač

vnitřního odporu zdroje zesilovaného nebo měřeného napětí U_x . Vstupní odpor elektrometrického stupně musí být podstatně větší než R_5 , aby případné změny tohoto vnitřního odporu za provozu neměly vliv na přenos celého stupně.

Pro přenos platí vztah:

$$U_3 = \frac{A}{1 + \beta A} U_x \approx \frac{1}{\beta} U_x,$$

kde β je určeno nastavením potenciometru R_1 ve zpětné vazbě a A zesílení OZ. Výstupní napětí U_3 tedy nezávisí tehdy, je-li součin zesílení A a činitele β mnohem větší než 1, na zesílení A operačního zesilovače.

Podstatnou nevýhodou tohoto uspořádání elektrometrického zesilovače napětí je, že zesilované napětí nemůže mít uzemněn žádný z obou pólů.

Elektrometrický zesilovač může zesilovat (případně měřit) i malé proudy I_x . Zdroj proudu I_x může být uzemněn. Zapojení se chová jako převodník proud-napětí, jehož hlavní předností je měření a zesilování proudu bez rušivého úbytku v obvodu měřeného proudu.

Je-li vstupní odpor elektrometrického stupně podstatně větší než odpor R_5 , vyvolá zesilovaný proud I_x na odporu R_5 spád napětí. Vztahy odvozené pro měření napětí platí i pro měření proudu, dosadíme-li za U_x vztah $I_x R_5$. Pak pro přenos proudu I_x platí:

$$U_3 = -\frac{1}{\beta} I_x R_5.$$

Měření a zesilování proudu je méně přesné než zesilování a měření napětí, neboť závisí na stálosti R_5 – ten při odporu 10^9 až $10^{15} \Omega$ mívá již velký drift. Při velkých hodnotách odporu R_5 se také nevhodně zvětšuje časová konstanta, která vzniká součinem R_5 a parazitních kapacit přívodů celého stupně. Tato časová konstanta prodlužuje dobu ustálení výstupního napětí U_3 .

Nábojový zesilovač

Základem zesilovače náboje (nebo jak můžeme také říci převodníku náboj-napětí) je elektrometrická úprava OZ. Pro zapojení na obr. 23 platí vztah:

$$i_k + C_2 \frac{du_3}{dt} = 0$$

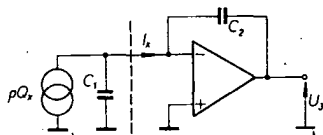
z toho pak pro přenos platí:

$$U_3 = -\frac{1}{C_2} \int i_k dt = -\frac{Q_k}{C_2}$$

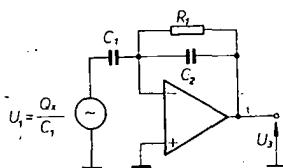
Zapojení na obr. 23 je vhodné pro měření (a zesilování) na zdrojích elektrického náboje (což jsou zdroje s vysloveně kapacitním charakterem). Příkladem takového zdroje elektrického náboje je piezoelektrický výbrus, piezoelektrické snímače, detektory jaderného záření apod. Ekvivalentní obvod na obr. 24 dostaneme přeměnou harmonicky proměnného proudu pQ s paralelně připojenou vnitřní kapacitou C_1 na zdroj elektrického napětí $U_1 = Q_k/C_1$ s vnitřní impedancí $1/j\omega C_1$. Odpor R_1 je nutný pro uzavření cesty klidového vstupního proudu OZ. Přenos tohoto typu nábojového zesilovače je dán vztahem:

$$U_3 = -\frac{Q_k}{C_2} \frac{pR_1 C_2}{1 + pR_1 C_2},$$

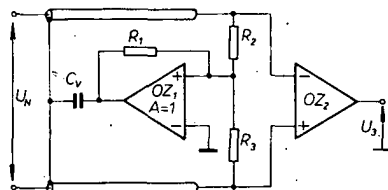
(kde p je Laplaceův operátor), z čehož je patrné, že nezávisí na kapacitě C_1 , tj. na vnitřní kapacitě zdroje náboje a také na všech k ní připojených parazitních kapacitách, např. kapacitě přívodního kabelu apod. To patří k jeho základní přednostem. Časová



Obr. 23. Převodník náboj - napětí



Obr. 24. Nábojový zesilovač



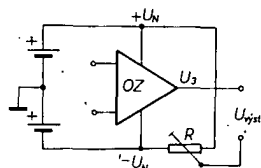
Obr. 25. Potlačení vlivu kapacity přívodních sousoých kabelů

konstanta $R_1 C_2$ určuje dolní mezní kmitočet amplitudové charakteristiky při přenosu střídavého signálu. Paralelní kombinace vstupního odporu elektrometrického zesilovače a svodového odporu snímače spolu se svodovým odporem přívodního kabelu musí být podstatně větší než odpor R_1 . Největší nároky na vstupní odpor vznikají při požadavku měřit a zesilovat pomalé změny náboje. Pro rychle proměnný náboj nemusíme použít elektrometrický OZ.

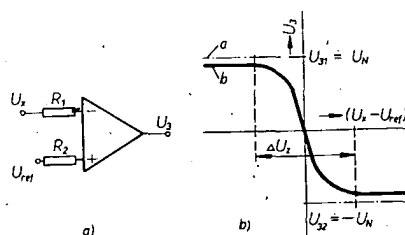
Nábojový zesilovač lze použít také pro zesilování signálů, které dává kapacitní mikrofón. Zde $U_1 = \text{konst.}$ a náboj vzniká změnou kapacity C_1 – pak mohou změny kapacity kabelu při vibracích vyvolat vznik rušivých signálů, je-li mezi vodiči kabelu elektrické napětí.

Potlačení vlivu kapacity přívodních sousoých kabelů

Na obr. 25 je jedna z nejběžnějších aplikací neinverujícího zapojení OZ. Zapojením OZ₂ se dosáhne toho, že stínící pláště přívod-



Obr. 26. Zvětšení rozsahu výstupního napětí operačního zesilovače



Obr. 27. Základní zapojení napěťového komparátoru (a) a jeho převodní charakteristika (b)

ních sousoých kabelů ke vstupům OZ₂ jsou na potenciálu střídavé součtové složky, která je odvozena z děliče R_2, R_3 . Tím se podstatně omezí vliv kapacity přívodních kabelů. Zesilovač OZ₁ musí být schopen zpracovávat součtová napětí a dodávat plný proud přes vazební kondenzátor na povrch pláště sousoých kabelů, které se jeví z elektrického hlediska jako kapacitní zátěž. OZ₁ má mít zesílení 1 nebo o málo větší než 1, což znamená, že všechny odpory R_1 až R_3 mají být stejné.

Zvětšení rozsahu výstupního napětí OZ

Zajímavý „trik“, sloužící ke zvětšení výstupního napětí OZ, je na obr. 26. Mění-li se výstupní napětí od $-U_3$ do $+U_3$, lze dosáhnout toho, že nastavením potenciometru R se může měnit od 0 do $+2U_3$, popř. při otočení potenciometru do druhé krajní polohy od $-2U_3$ do 0. To proto, že v zásadě platí zcela logická podmínka, že napájecí napětí U_N je vždy větší než U_3 , které je v podstatě z něho odvozené.

Podmínkou správné funkce je, že odpor trimru R musí být zanedbatelný vůči zatěžovacímu odporu dalšího stupně. Jistou nepříjemností je skutečnost, že žádný vývod OZ nemůžeme uzemnit.

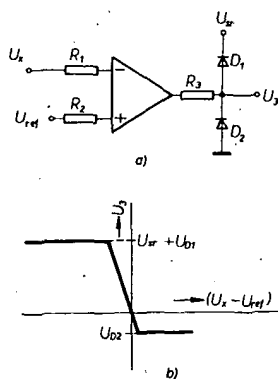
Úrovňové komparátory napětí

Komparátor je elektrický obvod, kterým vyhodnocujeme neznámou úroveň napětí. V nejjednodušším zapojení podle obr. 27a se vyskytují dvě vstupní napětí: neznámé napětí U_x , které komparátorem měříme, hlídáme nebo které porovnáváme, a napětí referenční U_{ref} , které jsme zvolili jako prahové napětí pro porovnávání. Výsledkem porovnání je výstupní napětí U_3 , které má v tomto zapojení pouze dvě stabilní úrovně, U_{31} a U_{32} , což jsou napětí, při nichž je výstup OZ v saturaci. Velikost U_3 se prakticky přibližuje napětí napájecímu, tj. $\pm U_N$.

Činnost obvodu je jednoduchá. Předpokládáme, že např. na vstup $+$ je zavedeno $U_{ref} = +1$ V. Neznámé napětí U_x má úroveň menší než $+1$ V. Potom je na výstupu napětí U_{31} . Jakmile se však neznámé napětí zvětší nad úroveň U_{ref} , tj. bude větší než $+1$ V, změní se na výstupu napětí na U_{32} . Přechodový stav nastává v okamžiku, kdy úroveň $U_{ref} = U_x$.

Základní vlastností úrovňového komparátoru napětí je jeho rozlišovací schopnost, což je v našem schématu obr. 27b $U_3 = U_x - U_{ref}$, slovy, je to nejmenší rozdíl mezi napětím neznámým (srovnávaným) a referenčním nutný k tomu, aby se výstupní napětí změnilo z úrovně U_{31} na U_{32} a naopak. Ideální komparátor by měl charakteristiku podobnou skokovému napětí z U_{31} na U_{32} (křivka a v obr. 27b – čerchovaná). Rozlišovací schopnost komparátoru je dána především zesílením použitého OZ, ale také jeho driftem a šumem. K potlačení vlivu driftu proudové nesymetrie vstupů volíme odpory R_1 a R_2 shodné.

Komparátory se vyznačují i chybou srovnávání, tj. chybou vznikající změnou rozlišovací schopnosti s časem, teplotou a případně změnami napájecího napětí $\pm U_N$. Tato chyba u komparátorů s přímou vazbou, které svým zapojením vycházejí ze základního zapojení, dosahuje s běžnými OZ až několika mV. Pro aplikace, v nichž je tato chyba příliš velká, se používají OZ s automatickým nulováním a základní zapojení se mění na tzv. proudový komparátor.

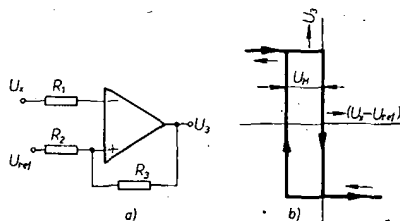


Obr. 28. Napojení komparátoru na TTL logiku

Je obvyklé, že komparátor pracuje i se střídavým nebo impulsním napětím U_x . Mezní kmitočet napětí, které lze komparovat, je prakticky určen mezním kmitočtem použitého OZ. Referenční srovnávací napětí je i v těchto případech obvykle stejnosměrné. Jeho zvláštní, odchylky od jmenovité velikosti a případná kolísání mají prakticky přímý vliv na rozlišovací schopnost komparátoru a jakost komparace je jakostí referenčního napětí přímo ovlivňována.

Abyste bylo možno použít komparátor s číslicovými IO, užívá se podle obr. 28a na výstupu OZ dvou omezovacích diod D_1 a D_2 . Jedna se uzemní, střed se spojí přes odpor R_3 a výstupem OZ a D_1 se připojí na kladné napětí, na které chceme výstupní napětí komparátoru omezit. Komparátor má pak dvě úrovně, 0 V a úroveň danou úrovní napětí U_{SR} . Chybu způsobuje úbytek napětí v propustném směru na diodách D_1 a D_2 ($-U_{D1}$ a U_{D2}) o velikosti 0,5 až 0,7 V. Úroveň log. 0 je pak $-0,5$ až $-0,7$ V. Úroveň log. 1 je dána součtem $U_{SR} + U_{D1}$. Odpor R_3 omezuje výstupní proud OZ do obou diod, u běžných typů OZ je zvykem volit ho od 300 do 700 Ω .

V mnohých aplikacích je nevhodné, má-li komparátor jakýsi „hazardní“ stav, k němuž dochází např. v automatizačním zapojení, kde jsou po delší dobu obě veličiny U_x a U_{ref} téměř stejné, nebo kolísají. U_x neustále v malých mezích kolem U_{ref} . V takových případech je žádoucí, aby převodní charakteristika byla jiná když se neznámé napětí U_x zvětšuje, a jiná když se zmenšuje. Tento jev se podobá hysterezní křivce magnetických materiálů. Dobrou elektrickou představu můžeme získat také tak, když si představíme místo OZ jednoduché relé. Přivedeme-li na jeho cívku neznámé napětí z regulovaného zdroje, relé přitáhne např. při 20 V. Když potom napětí na cívce zmenšíme, relé neodpadne při napětí 20 V, při němž přitáhlo, ale při napětí o několik voltů menším. Rozdíl mezi napětím spinacím a napětím „rozpínacím“ budeme nazývat napětí hysterezní U_H . V našem elektrickém komparátoru s hystere-



Obr. 29. Komparátor s hystezí (a) a jeho převodní charakteristika (b)

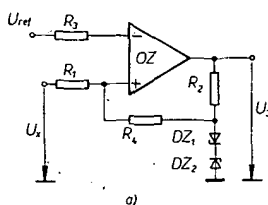
zi podle obr. 29b je napětí $U_H = (U_{x1} - U_{ref}) - (U_{x2} - U_{ref})$, přičemž U_{x1} je napětí v bodu, v němž neznámé napětí U_x působí při svém zvětšení změnu U_3 z maximální kladné velikosti na maximální zápornou velikost. Napětí U_{x2} je napětí U_x v okamžiku, když se U_x zmenšovalo a způsobilo opačnou změnu U_3 , tj. z maximálního záporného napětí na maximální kladné napětí. Převodní charakteristika podle obr. 29b předpokládá ideální komparátor, tedy vrátíme-li se ještě zpět k původnímu zapojení podle obr. 27a, tak jde vlastně o skokovou změnu podle křivky b bez parazitního napětí ΔU .

Hysterezní napětí se vytvoří vlastně kladnou zpětnou vazbou z výstupu OZ přes odpor R_3 na + vstup OZ, jeho velikost lze stanovit ze vztahu

$$U_H = U_3 \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

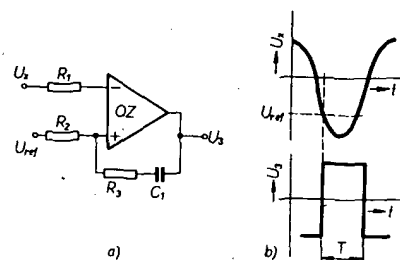
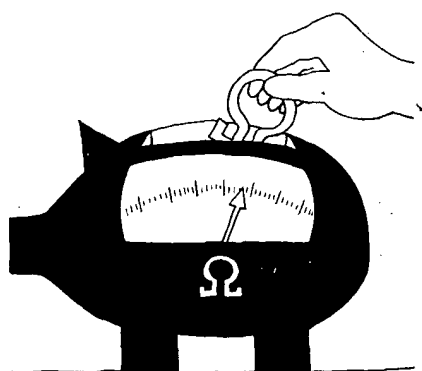
Je-li U_3 omezeno pomocí „cizího“ napětí a omezovacích diod, dosazujeme za U_3 maximální kladnou velikost, které toto napětí dosáhne.

Způsobů zavedení hysterezního napětí U_H je několik. Pokud záleží na tom, aby hysterezní napětí bylo přesně definováno, volíme např. zapojení podle obr. 30, což je komparátor běžného typu, u něhož vzniká napětí



Obr. 30. Komparátor s hystezí určenou Zenerovými diodami (a) a jeho převodní charakteristika (b)

v kladné zpětné vazbě určují dvě antiparalelně zapojené Zenerovy diody. Celou činnost tohoto komparátoru lze pohodlně vysledovat z jeho převodové charakteristiky. Napětí U_3 se poprvé přeplojí, když U_x dosáhne velikosti $U_{Z2} \frac{R_1}{R_3} + U_{ref}$, vratný děj nastane, až když se U_x zmenší na $U_{Z1} \frac{R_1}{R_3} - U_{ref}$. Velikost



Obr. 31. Kombinace úrovněového komparátoru a monostabilního klopného obvodu (a) a jeho časový diagram (b)

kost hysterezního napětí je prakticky dána rozdílem obou napětí, tj.

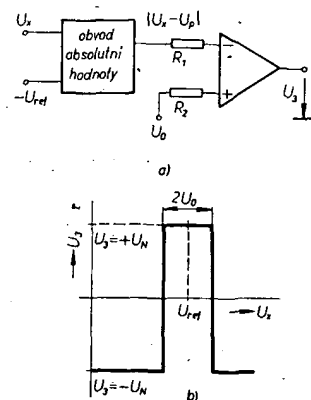
$$U_H = \frac{R_1}{R_3} (U_{Z1} + U_{Z2})$$

Vstupní odpor na svorce pro přívod neznámého napětí U_x je přibližně roven součtu odporů $R_1 + R_3$.

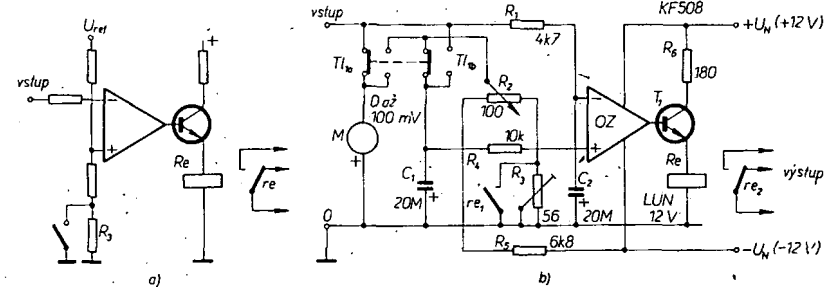
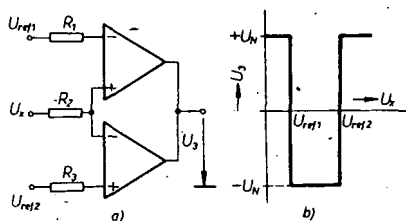
OZ umožňují i mnohé další obvodové varianty. Jediným obvodem lze např. získat kombinaci napěťového komparátoru a monostabilního obvodu. Základní schéma takového obvodu je na obr. 31. Jde vlastně o běžné zapojení úrovněového komparátoru, u něhož kladnou vazbu, která způsobovala hysterezi, nahrazuje sériový člen RC. Jakmile se obvod přeplojí tím, že se neznámé napětí zmenšilo pod úroveň napětí referenčního, začne pracovat kladná zpětná vazba z výstupu OZ na + vstup operačního zesilovače. Výstup operačního zesilovače je pak v kladné saturační úrovni i tehdy, když zanikly podmínky nutné pro přeplopení. Na výstupu OZ vznikne impuls s dobou trvání T (obr. 31b), která je přímo úměrná velikosti časové konstanty článku $R_3 C_1$, zapojeného ve zpětné vazbě OZ. Impuls má napěťovou velikost rovnou saturačnímu výstupnímu napětí $2U_3$, což je přibližně $2U_N$. Výstupní napětí U_3 jde samozřejmě omezit některým z běžných již dříve popsaných způsobů. Náběžná hrana impulsu je závislá zejména na zesílení použitého OZ a na jeho mezním kmitočtu. Početné šířku impulsu stanovíme ze vztahu:

$$T = (R_2 + R_3) C_1 \frac{U_3}{U_{ref}} \frac{R_2}{R_3 + R_2}$$

V obvodech, v nichž je potřeba sledovat, zda se neznámé napětí U_x pohybuje mezi dvěma mezemi, je již i v nejjednodušším případě potřeba použít alespoň dva OZ. Dva způsoby zapojení takového „tolerancního okénkového komparátoru“ jsou na obr. 32



Obr. 32. Toleranční „okénkový“ komparátor (a) a jeho převodní charakteristika (b)



Obr. 35. Elektronický vyhodnocovač napětí s OZ a relé; a) princip, b) aplikace

a obr. 33. Princip činnosti je patrný ze schématu a výsledek lze vysledovat z uvedené převodní charakteristiky. I zde lze výstup doplnit o omezující členy, abychom dostali napětí U_3 o potřebné úrovni, i zde lze zavést hysterezi, prakticky stejnou jako ve všech popsaných komparátorech.

Komparátory lze zapojovat tak, že každý je nastaven na jednu vyhodnocovací úroveň. Vznikne pásmový vyhodnocovač napětí, který vlastně dokáže rozhodnout, v kterém „stupni“ se neznámé napětí U_1 nachází. Takový úrovněvý stupňový vyhodnocovač napětí je základem analogové číslicových převodníků. Neinvertující vstupy OZ, které představují vstup pro neznámé porovnávané napětí, jsou prakticky přes oddělovací odpory R_3 , R_{10} atd. připojeny paralelně ke svorce celkového vstupu do přístroje (U_1). Paralelně jsou také zapojeny všechny napájecí vstupy OZ na společnou úroveň napětí $\pm U_N$. Na invertující vstupy OZ je přivedeno referenční napětí, které u OZ_1 a OZ_n určuje komparační úroveň. Proto je U_{ref} rozděleno podle napětí, které potřebujeme komparovat, na přesném děliči složeném z odporů R_1 , R_4 , R_7 atd., posledním v řadě je odpor R_{10} . Odpory R_3 , R_5 atd. již úroveň komparace podstatně neovlivňují. OZ může být v úrovněovém stupňovitém komparátoru téměř nekonečné množství. V praxi se pro větší množství komparačních stupňů používají jiné typy převodníků, neboť u mnohastupňových vyhodnocovačů je tato metoda příliš nákladná. Na výstupu každého OZ zapojeného podle obr. 34a můžeme připojit známým způsobem podle obr. 34b vstupy libovolného typu hradla TTL a vyhodnocený signál pak již zpracovávat číslicově. Komparátor podle obr. 34a má jako vyhodnocovací členy připojeny žárovky Z_1 až Z_n . Ty jsou spínány z výstupu OZ přes tranzistor a tyristor. Když sepne první komparátor OZ_n , rozsvítí se přes sepnutý tranzistor T_n žárovka Z_n . Ta je napájena ze střídavého zdroje 10 V přes diodu D_3 , omezovací odpor 33Ω a tyristor Ty_n . Když se překlopí OZ, který je zapojen jako komparátor o „stupínek výše“, takže z celé kaskády žárovek Z_1 až Z_n vždy svítí pouze jedna, která vlastně určuje, v jakém

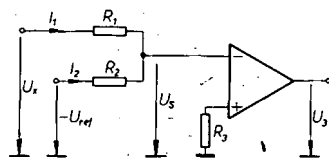
tolerančním poli se nachází neznámé porovnávané napětí U_x .

Zapojení podle obr. 35 je také komparátor, ale patří již jaksí mezi aplikační schémata. Je to relé, doplněné komparátorem napěťové úrovně, u něhož je zavedena hystereze neobvyklým způsobem. Jakmile se na výstupu OZ objeví kladné napětí, sepne tranzistor a jeho proudem je buzeno relé Re . To svým kontaktem re zkratuje odpor R_3 , který změní velikost referenčního napětí přiváděného na neinvertující vstup komparátoru. Velikost hysterezního napětí lze v tomto případě měnit od nuly do velikosti, určené maximální hodnotou R_3 . Samotné zapojení je vhodné jako řídicí člen při nespojitě regulaci jakékoli veličiny, kterou lze převést jako elektrické napětí, přiváděné např. na ručkový měřicí přístroj. Voltmetr M může být součástí libovolného měřicího přístroje a v klidovém stavu při nezapnutém tlačítku Tl plní svoji funkci, komparátor je prakticky připojen pouze přes odpor R_1 do invertujícího vstupu OZ. Úroveň, při které spíná výstupní relé, se nastaví tak, že stiskneme tlačítko. Tím se odpojí voltmetr M a napětí, které se přivádí z běžce potenciometru R_2 a které při činnosti komparátoru považujeme za referenční se připojí na voltmetr M . Potenciometrem R_2 pak na stupnici voltmetru nastavíme takové stejnosměrné napětí, při kterém chceme, aby relé spínalo. Vrátime-li tlačítko zpět do klidové polohy, musí relé spínat tehdy, když na vstup přijde větší stejnosměrné napětí, než jaké jsme předtím na stupnici nastavili pomocí potenciometru. Trimrem R_3 nastavíme potřebnou hysterezi, aby relé Re nekmitalo, když měřená veličina kolísá kolem referenční hodnoty. Nesmíme zapomenout, že změnou R_3 se v tomto zapojení mění i celkové referenční napětí, neboť se mění poměry v děliči složeném z R_3 , R_2 a R_5 . Referenční napětí je zde bráno z napájecího napětí $-U_N$ a kvalita porovnávání je závislá na stabilitě tohoto napětí. V zapojení předpokládáme, že vstupní odpor OZ je mnohem větší než vnitřní odpor voltmetru M a že součet odporů $R_2 + R_3$ je menší než vnitřní odpor voltmetru.

První podmínka je obvykle dobře splněna, v druhém případě to je již obvykle horší. V krajním případě lze volit vyšší úroveň komparovaných napětí a ke vnitřnímu odporu voltmetru M přičíst i příslušný předřadný odpor, který je téměř vždy k voltmetru přiřazen. Několik zapojení lze také použít vedle sebe s cílem, aby se komparovalo několik úrovní. Spojí se paralelně z vývodu tlačítka k zápornému pólu voltmetru a pro všechny lze použít společný napáječ $\pm U_N$. Praktických použití pro takový obvod je velmi mnoho. Jeden za všechny: pokud máme v nádrži odporový měřicí hladiny vody, podobný hladinoměru běžnému v každém automobilu a voltmetr M ukazuje výšku hladiny, můžeme tímto obvodem řídit čerpadlo. Jakmile hladina poklesne pod určitou úroveň a na vstupu se zvětší napětí nad úroveň nastavenou potenciometrem R_2 , sepne relé Re , jehož kontakty již přímo spínají stykač motoru čerpadla. Horní hladinu, při níž relé přes stykač vypne motor, nastavíme pomocí „hystereze“, tj. napětím, určeným změnou odporu R_3 .

Proudový komparátor

Schéma na obr. 36 je zapojením sítacího zesilovače, modifikace to invertujícího zesilovače. Předpokládáme-li ideální zesilovač, který má nekonečné zesílení A , potom musí napětí U_3 limitovat k nule. Podíl neznámého



Obr. 36. Proudový komparátor

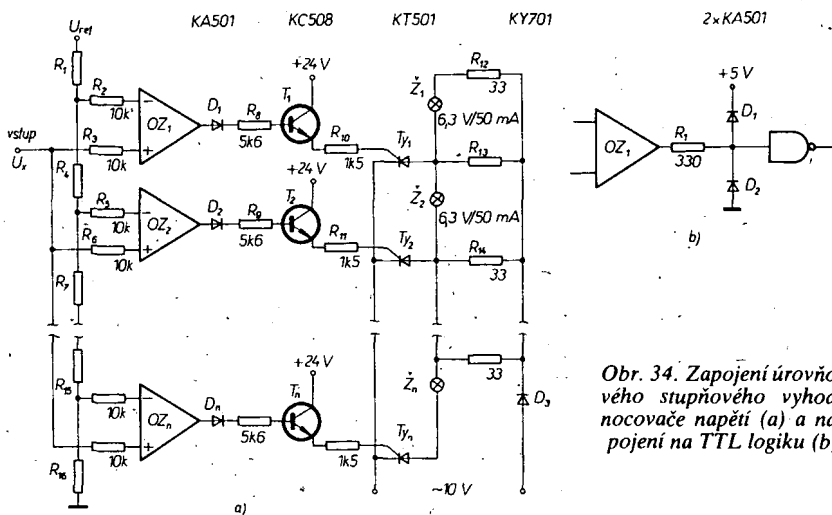
napětí k odporu R_1 a podíl referenčního napětí k odporu R_2 lze reprezentovat proudy I_1 a I_2 . Pro přenos platí vztah

$$U_3 \approx 0 \approx U_x \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{ref} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

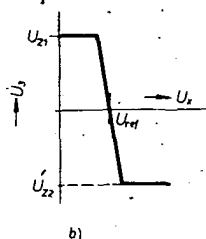
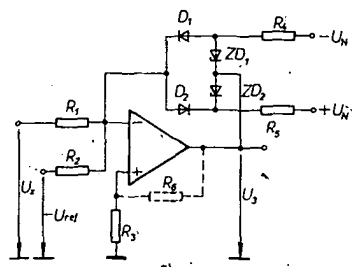
Jako proudový komparátor lze použít i operační zesilovač s jednou vstupní svorkou uzemněnou. Nevýhodou je, že pokud tímto způsobem srovnáváme napětí U_{ref} s napětím U_x , musíme k odporům R_1 a R_2 připočítat vnitřní odpory napájecích zdrojů U_{ref} a U_x . Pokud je vnitřní odpor neznámého srovnávaného zdroje U_x proměnný, je toto zapojení bez úpravy nevhodné.

Odporem R_3 vyrovnáme případnou nesymetrii vstupů, jeho střední hodnota je určena jako výsledná velikost dvou paralelně zapojených odporů, R_1 a R_2 .

I u proudového komparátoru lze realizovat „hysterezi“ prakticky stejným způsobem



Obr. 34. Zapojení úrovněového stupňového vyhodnocovače napětí (a) a na-
pojení na TTL logiku (b)



Obr. 37. Proudový komparátor s oboustranným omezořovačem výstupního napětí (a) a jeho charakteristika (b)

jako u napětového komparátoru tak, že z výstupu zavedeme kladnou zpětnou vazbu na invertující vstup OZ – v obr. 37 je to naznačeno čerchovaně (odpor R_6). Na stejném obrázku je rychle reagující proudový komparátor s omezořovacími Zenerovými diodami ve zpětné vazbě. Dioda D_1 vede pro oblast $U_3 - U_{Z1} > 0$ a dioda D_2 pro $U_3 + U_{Z2} < 0$. Tím je v této oblasti zavedena záporná zpětná vazba a zesílení je dáno

$$\text{poměrem } \frac{R_{ZD2} + R_{D2}}{R_1}, \text{ případně v druhé oblasti } \frac{R_{ZD1} + R_{D1}}{R_1}.$$

Protože odpory diod R_{ZD1} , R_{ZD2} , R_{D1} a R_{D2} jsou v propustném směru ve srovnání s R_1 malé, zesílení je také malé a zapojení pracuje v omezujiící části převodní charakteristiky (obr. 37b). Naopak pro výstupní napětí U_3 , splňující nerovnost $-U_{Z2} < U_3 < +U_{Z1}$ nevede žádná z diod D_1 , D_2 . Záporná zpětná vazba je rozpojena a zesílení je dáno poměrem

$$\frac{R_{ZN1}}{R_1}, \text{ popř. } \frac{R_{ZN2}}{R_1}.$$

kde R_{ZN1} a R_{ZN2} jsou odpory diod D_1 a D_2 v nepropustném směru, odpory jsou velké, takže i zesílení je velmi velké. Pokud se takový komparátor používá na mezích dynamických vlastností, uplatňují se v tomto zapojení i kapacity diod D_1 a D_2 a celek se chová jako integrátor s časovou konstantou $C_0 R_{RN}$, kde C_0 je dynamická kapacita diody.

Rychlé komparátory

Při přiložení skokového napětí U_1 na vstup komparátoru bude výstupní napětí (jako u každého elektronického zařízení) do jisté míry (proti vstupnímu) zpožděno. Pro rychlé komparátory se vyrábějí speciální OZ, které mají dobu odezvy na jednotkový signál kolem desítek, mnohdy však pouze jednotky ns. Dosahuje se toho obvodovými úpravami a zejména tím, že výstup OZ při komparaci napětí není využíván až do stavu saturace.

Příkladem rychlého komparátoru je např. monolitický komparátor SN72710N Texas Instruments. Pro nás jsou dostupné výrobky NDR typu A110 nebo B110. Některé typy rychlých komparátorů mají již výstupy při-

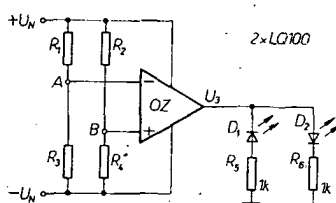
způsobené k přímému připojení na logiku TTL.

OZ a měření odporů

Odpor lze měřit mnoha způsoby. Za základní lze považovat metody, které vycházejí z Ohmova zákona. Při jednotkovém proudu odporem měříme napětí, které je pak neznámému odporu přímo úměrné. Stupnici voltmetru při tomto způsobu měření lze cejchovat přímo v ohmech.

Pro využití OZ jsou velmi vhodné můstkové metody měření odporů. Jedno ze základních zapojení vhodné pro stanovení neznámého odporu můstkovou metodou je na obr. 38. Můstek pracuje ve vyrovnaném stavu tak, že pro nulové napětí v úhlopříčce můstku, tj. mezi body A, B musí platit základní vztah:

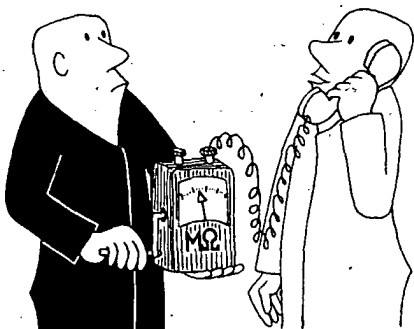
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}.$$



Obr. 38. Můstková metoda měření odporů

Neznámý měřený odpor zařadíme místo jednoho libovolného odporu v jedné větvi můstku, v další větvi volíme odpor jako proměnný, hřídel proměnného odporu opatříme stupnicí a ocechujeme. Měříme tak, že proměnným odporem můstek vyrovnáváme a na stupnici při vyrovnaném můstku čteme velikost neznámého odporu. To jsou zcela známé a základní skutečnosti. Přínos OZ u můstkových metod je v tom, že nahrazují kvalitní nulový indikátor, zapojený v úhlopříčce můstku. Přesnost libovolné můstkové metody závisí nejen na tom, jak přesné odpory, případně impedance použijeme v jednotlivých větvích můstku, ale i na kvalitě nulového indikátoru, který určuje, s jakou přesností je možno můstek vyrovnat. I zcela běžné OZ se svými vlastnostmi přibližují v tomto zapojení klasickým galvanoměrům, které jsou velmi nákladné a především poměrně málo „mobilní“. OZ lze použít jako nulový indikátor v jakémkoli typu můstku. Na jeho výstupu pak můžeme měřit úroveň výstupního napětí U_3 již libovolným nenáročným voltmetrem. Pro amatéry je šikovné k indikaci nulového napětí a vyvážení můstku použít dvě svítivé diody, např. typu LQ100 TESLA, zapojené podle obr. 38 antiparalelně k výstupu OZ.

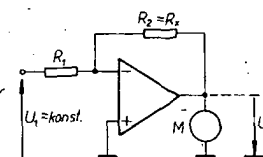
Je-li na výstupu OZ záporné napětí, svítí jedna dioda, je-li kladné, svítí druhá dioda. Při vyrovnaní můstku, když se napětí U_3 blíží k nule, obě diody zhasnou. Při současných cenách svítivých diod a vzhledem k tomu, že výstupní proud OZ stačí přímo bez vně připojeného tranzistoru nebo jiného členu k rozsvícení svítivé diody, je takto řešená indikace nuly velmi výhodná.



Metody „zpětnovazebního odporu“

Tyto metody mají jednu společnou charakteristiku. Měřenou součástku vkládáme do zpětné vazby OZ a ze změny výstupního napětí OZ pak usuzujeme na její odpor. Těmito metodami lze měřit odpory ve velmi širokém rozsahu, bez proudového zatížení měřené součástky (nebo jen s maximálním zatížením). Výsledkem je lineární úměrnost mezi výsledným napětím a měřeným odporem, což zjednodušeně znamená, že při použití ručkového měřidla jako indikátoru měřeného odporu bude stupnice lineární, cejchovaná v ohmech. Nejpodstatnější výhodou je skutečnost, že se tyto metody dobře hodí pro použití v multimetrech a při automatizačních měřeních, neboť se v takto konstruovaných měřicích odporech snadno zavádí automatická změna rozsahu. Protože OZ pracují prakticky stejně při stejnosměrných i střídavých napětích, lze tyto metody velmi dobře aplikovat i při měření neznámých impedancí střídavým proudem.

Principiálně nejjednodušší metoda měření neznámého odporu je na obr. 39. Jde vlastně



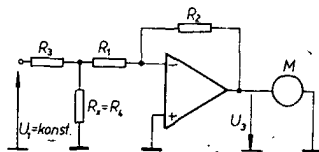
Obr. 39. Metoda zpětnovazebního odporu

o zapojení běžného typu invertujícího zesilovače, o němž jsme si řekli, že pro výstupní napětí U_3 platí vztah:

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1}.$$

Přivedeme-li na vstup stabilizované výstupní napětí U_1 a je-li odpor R_1 konstantní, je potom výstupní napětí U_3 lineárně přímo závislé na změně odporu R_2 . Jestliže pak do zpětné vazby OZ připojíme místo R_2 měřený neznámý odpor, je na výstupu OZ napětí U_3 úměrné hodnotě neznámého odporu, přičemž rozsah měření můžeme přímo přepínat změnou odporu R_1 nebo změnou stabilizovaného napětí U_1 . Napájecí napětí použitého OZ zde stejně jako u můstkových metod hraje nepodstatnou roli, nebo, lépe řečeno, jeho vliv je silně potlačen.

Pro měření odporů menších než jeden kiloohm je vhodnější zapojení podle obr. 40.



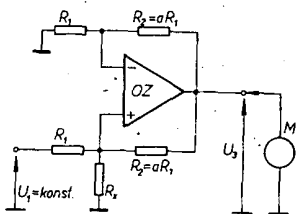
Obr. 40. Metoda měření odporů menších než 1 kΩ

Čím je totiž odpor R_2 menší, tím více se začínají uplatňovat nelinearity OZ. Proto je lépe měnit neznámým odporem vstupní poměry invertujícího zesilovače. Pro převod U_1 na U_3 v tomto zapojení platí vztahy

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_1}.$$

Zajistíme-li podmínku, že vnitřní odpor zdroje konstantního napětí U_1 se blíží nule a odpory R_1 a R_3 jsou mnohem větší než měřený odpor ($R_4 = R_x$), zjednoduší se uvedený vztah na

$$U_3 = -U_1 \frac{R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_1}.$$



Obr. 41. Využití diferenciálně zapojeného OZ k měření odporů

Jak je patrné, i v tomto případě závisí napětí U_3 lineárně pouze na změně R_x , přičemž rozsah lze snadno měnit změnou napětí U_1 nebo změnou děliče $\frac{R_2}{R_1}$ ve zpětné vazbě OZ.

Uvedené způsoby měření odporu nejsou vyčerpávající. Využít lze např. diferenciálního zapojení OZ podle obr. 41. Pro výstupní napětí pak platí vztah

$$U_3 = R_x (1 + A) \frac{U_1}{R_1}$$

Tento způsob měření odporu je prakticky rovnocenný předcházejícím způsobům. I v tomto případě je stupnice měřicího přístroje M na výstupu OZ (oceňovaná v ohmech) lineární. Snad jedinou nevýhodou je nutnost zachovat souměrnost odporů v obou vstupech OZ.

Ohmmetr s operačním zesilovačem

Přístroj (obr. 42) je praktickou aplikací měřicích metod, které jsme nazvali metodami „zpětnovazebního odporu“. Výhodou přístroje je, že rozsah stupnice je v celé oblasti měření lineární a měřený odpor je minimálně zatěžován procházejícím proudem. Jasnou nevýhodou je skutečnost, že ani jedna svorka pro připojení měřeného odporu není spojena se zemí nebo alespoň s jedním pólem napájecího zdroje, měřicí svorky K_1 a K_2 jsou tedy (jak se říká) „plovoucí“.

Přístroj je schopen měřit neznámé odpory v rozsazích 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 1000 k Ω . Rozsahy přístroje se přepínají spínači S_1 a S_2 , přičemž S_1 slouží pouze ke změně rozsahu ze 100 Ω na 1 Ω . Není-li do svorek K_1 a K_2 vložen žádný měřený odpor R_x , a je-li rozpi-

nací tlačítko T1 v klidovém stavu, tj. jsou-li svorky K_1 a K_2 zkratovány, je ručka měřidla M v nulové poloze na stupnici. Nulová poloha ručky se doregulovává vnější kompenzací operačního zesilovače (napětím z běžce odporového trimru R_{13}). Při kompenzaci se zavádí do vstupu 1 OZ takové správné napětí, aby na výstupu 6 bylo před počátkem každého měření při nulovém odporu mezi K_1 a K_2 na příslušném rozsahu nulové napětí, odpovídající nulové výchylce ručky na stupnici indikačního měřidla M. Stejnou funkci mají odpory R_{10} , R_{11} a R_{11} , které slouží jako proudové kompenzátory při různých rozsazích.

Zde je třeba méně zkušené upozornit ještě na jednu výhodu této metody. Pokud měříme odpory malých hodnot pomocí dlouhých přívodů na K_1 a K_2 , je měření „zatíženo“ chybou. Odpor přívodů lze však kompenzovat velmi jednoduchým způsobem. Vyřadí se rozpojovací tlačítko a svorky K_1 a K_2 před měřením vyzkratujeme až na konci připojovacích šňůr v místech, do nichž pak připojíme neznámý odpor R_x . Pak nastavíme nulu trimrem R_{13} – tato kompenzace zahrne i parazitní odpory přívodů.

Sériová kombinace C_1 a R_{14} spolu s kondenzátorem C_2 jsou vnější přídavné kompenzační obvody OZ, které zabezpečují jeho stabilitu. Zenerova dioda D_1 ochraňuje vstup OZ před zničením větším napětím, přivedeným náhodně při měření na svorky K_1 a K_2 . Přitom se předpokládá, že výstup 6 OZ, který není z tohoto hlediska chráněn, není zdaleka tak citlivý na přetížení. Dioda D_2 chrání stejným způsobem měřidlo (mikroampérmetr).

Přesnost měření závisí na stabilitě napájecího napětí, které se v tomto zapojení nepoužívá pouze pro napájení OZ, ale i jako zdroj napětí U_1 pro invertující vstup OZ. Pokud je stabilita tohoto napětí dostatečná, lze dosáhnout přesnosti měření kolem 2 % za další podmínky, že zejména odpory R_1 až R_8 a R_{12} jsou teplotně stálé a vybrané s dostatečnou přesností.

Tak jak je přístroj na obr. 42 nakreslen, je zapojen měřicí rozsah 100 Ω . Přepnutím S_1 dosáhneme rozsahu 10 Ω . Další rozsahy se volí tak, že S_1 se přepne zpět na rozsah 100 Ω a vyšší rozsahy lze zařadit postupně přepínáním S_2 . Při uvádění do provozu je třeba nejprve nastavit rozsah 100 Ω . Na svorky K_1 a K_2 připojíme odporovou dekadou a zvolíme

některou okrouhlou hodnotu odporu menší než 100 Ω , např. 80 Ω . Údaj na mikroampérmetru pak doregulujeme trimrem R_{17} přesně na 80 Ω . Pak přepneme přístroj na rozsah 10 Ω přepínačem S_1 . Na dekadě nastavíme např. 8 Ω a případný rozdíl výchylky ručky měřidla od 8 Ω musíme nastavit dodatečnou korekcí odporu R_2 .

Pak přejdeme na vyšší rozsahy. Na rozsahu 1 k Ω korigujeme výchylku ručky odporem R_4 , vyšší rozsahy změnou odporu R_5 . Na těchto vyšších rozsazích si můžeme při nastavení nuly pomoci i změnou odporů R_9 až R_{11} .

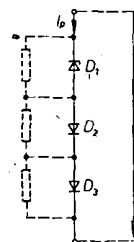
Referenční zdroje

Referenční zdroje napětí jsou elektronické obvody, které s velkou přesností generují normálové napětí, které je nutné k činnosti mnoha elektronických, zejména číslicových měřicích přístrojů a zařízení. Je zcela obvyklé, že přesnost normálového napětí určuje i přesnost přístroje a měření.

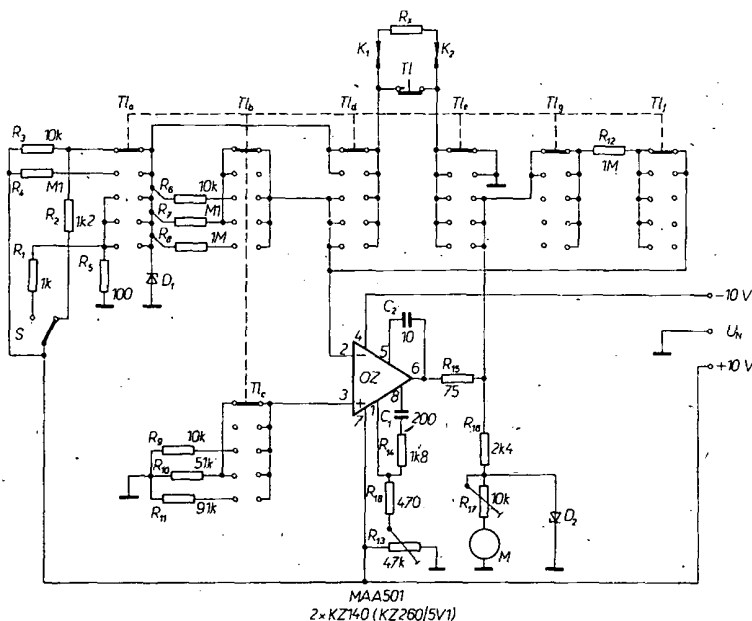
Základem každého referenčního zdroje přesného napětí je referenční prvek. Klasickým referenčním prvkem je Westonův normálový článek. Typický Westonův článek je neklopný, špatně přenosný a málo vhodný do přenosných i stabilních elektronických přístrojů, protože nesnáší otřesy. Má malé napětí: 1,0187 V při 20 $^{\circ}\text{C}$ s reprodukovatelností lepší než $\pm 0,1 \text{ mV}$, s teplotním součinitelem $= -4,10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ a s časovou stabilitou lepší než 10^{-4} V/rok . Článek má relativně velký vnitřní odpor (kolem 1 k Ω) a velmi malý dovolený zatěžovací proud (obvykle menší než 1 μA). Z hlediska amatérského použití je nutno podotknout, že další překážkou je značná cena Westonova článku.

Běžným a nejrozšířenějším referenčním prvkem je Zenerova dioda. Zapojení v závěrném směru má v oblasti Zenerova napětí malý diferenciální odpor a poměrně stabilní napětí. Vyrábějí se Zenerovy diody se Zenerovým napětím v rozsahu 3 až 15 V. Diody o Zenerově napětí menším než 6 V mají záporný teplotní součinitel $K_z [V/^{\circ}\text{C}]$ Zenerova napětí. Diody se Zenerovým napětím větším než 6 V mají teplotní součinitel K_z kladný. Z toho plyne, že nejlepší Zenerovy diody z hlediska tepelné stálosti jsou typy, které mají U_z okolo 6 V. Typická velikost K_z u běžných Zenerových diod je $\pm 10^{-4}$ až $10^{-3} \text{ V/^{\circ}C}$.

Referenční prvek s takovou stálostí je pro náročné použití málo vhodný a proto se používají tzv. kompenzované diody; tyto referenční diody jsou Zenerovy diody, které mají v sérii (viz obr. 43) obvykle dvě křemíkové diody v propustném směru. Diody se „skládají“ tak, že teplotní součinitel Zenerových diod je velikostí stejný jako teplotní součinitel obou křemíkových diod v propustném směru, ale má opačné znaménko. Vy-



Obr. 43. Zenerova dioda kompenzovaná dvěma Si diodami

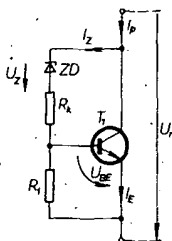


Obr. 42. Ohmmetr s operačním zesilovačem

sledný teplotní součinitel celého zapojení $K_z = K_{D1} + K_{D2} + K_{D3}$ se v ideálním případě blíží nule. Profesionálně vyráběné referenční diody tohoto typu mívají teplotní součinitel K_z lepší než 10^{-7} V/°C (např. TESLA KZZ81). Typický součinitel komerčních diod bývá v rozmezí 10^{-5} až 10^{-7} . Pro udržení přesných mezních podmínek a pro skutečně stabilní výstupní napětí je nutno obvykle stabilizovat příčný proud referenční diodou a je obvyklé umísťovat diodu do jednoduchého termostatu, nebo alespoň ji nevystavovat účinkům tepelného záření některé více tepelně namáhané součásti.

Pro profesionální výrobu referenčních diod je uvedené zapojení málo výhodné tím, že je nutný individuální výběr jak Zenerových, tak kompenzačních diod. V amatérských podmínkách lze měřit teplotní součinitel diod v olejové lázni při zvoleném příčném proudu. Teploměrem měříme teplotu lázně a v závislosti na zvyšující se teplotě měříme u Zenerových diod změnu Zenerova napětí a u křemíkových diod změnu úbytku v předním směru. Diody si očistíme a pak výběrem musíme najít takové kombinace, u nichž se výsledný součinitel sériového spojení Zenerovy diody a jedné až dvou diod křemíkových blíží k nule. Pro přesné měření změny napětí je nutný voltmetr, který měří alespoň na čtyři platná místa, nejlépe číslicový.

Další možné zapojení referenční diody je na obr. 44. Zenerova dioda a odpor R_k



Obr. 44. Zenerova dioda kompenzovaná tranzistorem

zapojené mezi bází a kolektorem tranzistoru T_1 tvoří zápornou zpětnou vazbu, která automaticky nastavuje proud I_z na

$$I_z = \frac{U_{BE}}{R_1} + \frac{I_c}{h_{21e}}$$

kde I_c je kolektorový proud T_1 a U_{BE} jeho napětí báze-emitor.

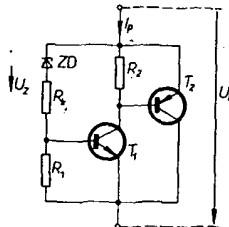
Pro celkové referenční napětí pak platí: $U_{ref} = U_z + I_z R_k + U_{BE}$.

příčemž kladný teplotní součinitel Zenerova napětí U_z je kompenzován záporným teplotním součinitelem U_{BE} tranzistoru T_1 . Výhodou zapojení je zejména podstatné zmenšení dynamického odporu celého zapojení, který pro dostatečně velké proudové zesílení h_{21e} použitého tranzistoru je

$$r_d \approx r_c \frac{r_e + R_1}{r_e + R_1}$$

kde r_e je diferenciální emitorový odpor tranzistoru T_1 a r_c diferenciální odpor použité Zenerovy diody.

Odpojem R_k lze nastavit kompenzaci teplotního součinitele referenční diody v případech, kdy součinitel K_z Zenerovy diody je kladný a v absolutní hodnotě větší než



Obr. 45. Zenerova dioda kompenzovaná dvěma tranzistory

záporný teplotní součinitel přechodu B-E kompenzačního tranzistoru T_1 .

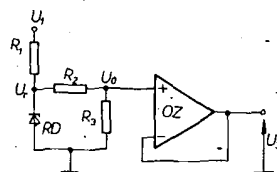
Zapojení na obr. 45 je alternativou předchozího a vyznačuje se zejména tím, že potlačuje závislost teplotní kompenzace referenční diody na příčném proudu, která vzniká závislostí součinitele K_z přechodu B-E na kolektorovém proudu. U zapojení je kolektorový proud I_{C1} tranzistoru T_1 stabilizován tranzistorem T_2 . Navíc se vnitřní dynamický odpor celého „prvku“ zmenší na

$$r_d = r_{e1} \frac{r_{e2}}{R_2} \frac{R_1 + R_k}{R_1}$$

kde r_{e1} je diferenciální emitorový odpor tranzistoru T_1 a r_{e2} diferenciální emitorový odpor tranzistoru T_2 .

Základem každého zdroje referenčního napětí je, jak jsme již uvedli, kvalitní napětí z referenčního prvku. Ve schématech budeme referenční prvek kreslit jako Zenerovu diodu a značit RD. Účelem referenčního zdroje je upravit výstupní napětí referenčního prvku na potřebnou úroveň a zároveň zajistit, aby referenční prvek měl stále zatěžovací podmínky.

Nejběžnější zapojení referenčního zdroje je na obr. 46. Referenční prvek RD je napájen příčným proudem ze zdroje U_1 přes odpor R_1 , který určuje velikost příčného proudu. Děličem R_2 a R_3 se referenční napětí



Obr. 46. Základní zapojení referenčního zdroje

zmenší na potřebnou úroveň U_0 . Protože OZ je zapojen jako sledovač napětí a oddělovací zesilovač, je výstupní napětí U_3 rovno U_0 a proto platí

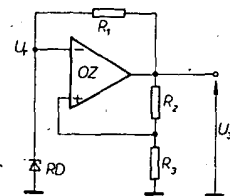
$$U_3 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_0$$

OZ v tomto zapojení se chová jako zdroj konstantního napětí, řízený úrovní U_0 , s velkým vstupním odporem, o němž předpokládáme, že je mnohem větší než odpory R_2 a R_3 . Zesílení OZ je 1, takže změnit případné výstupní napětí lze pouze změnou odporů děliče R_2 a R_3 . Samozřejmě je, že výstupní napětí U_3 je v tomto zapojení vždy menší, než napětí referenční.

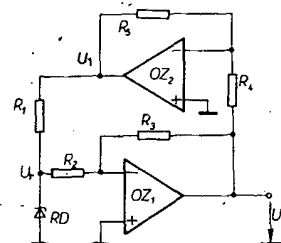
V zapojení obr. 47 je naopak výstupní napětí U_3 vždy větší než napětí referenční, což je opět dáno poměry v děliči R_2 , R_3 .

$$U_3 = \frac{R_2 + R_3}{R_3} U_0$$

Pokud referenční diodu napájíme z výstupu U_3 , vyloučili jsme vlastně zápornou zpětnou vazbou vliv dynamického odporu refe-



Obr. 47. Referenční zdroj



Obr. 48. Jiná alternativa referenčního zdroje

renčního prvku na stabilitu výstupního napětí.

Referenční zdroj podle obr. 48 je alternativou invertujícího zesilovače, takže pro výstupní napětí U_3 platí

$$U_3 = - \frac{R_3}{R_2} U_1$$

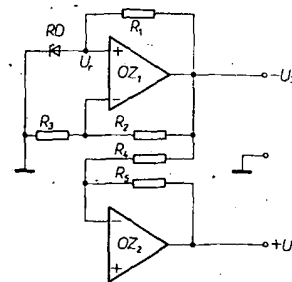
Podle toho, je-li odpor R_2 větší nebo menší než R_3 , je také výstupní napětí U_3 menší nebo větší než napětí referenční, jak ostatně plyne z uvedeného vztahu pro přenos.

Pokud přidáme OZ_2 , je referenční prvek napájen ze zdroje konstantního napětí, které si referenční prvek sám sobě stabilizuje

$$U_1 = - \frac{R_5}{R_4} U_3 = \frac{R_3 R_5}{R_2 R_4} U_3$$

Zde ovšem musíme dodržet podmínku, že napětí U_1 musí být větší než referenční napětí U_0 a $R_3 R_5$ větší než $R_2 R_4$.

S jedním referenčním prvkem je možno realizovat symetrický referenční zdroj podle obr. 49. Záporné výstupní napětí $-U_3$ zde „vyvozuje“ OZ_1 , kladné napětí $+U_3$ se získává inverzí záporného napětí $-U_3$ pomocí OZ_2 . Jestliže zesílení stupně s OZ_2 je rovné



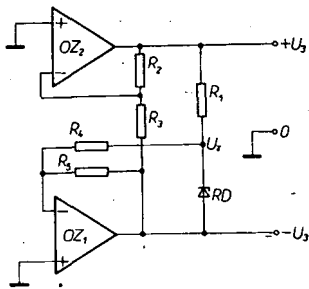
Obr. 49. Symetrický zdroj referenčního napětí

1, což se zajistí podmínkou, že $R_4 = R_5$, platí pro absolutní hodnotu výstupního napětí vztah

$$|U_3| = \frac{R_2 + R_3}{R_3} U_0$$

Z toho plyne zároveň i skutečnost, která je patrná ze schématu, a to že výstupní napětí U_3 je vždy větší než napětí referenční.

Jiným typem symetrického referenčního zdroje je zapojení podle obr. 50. Referenční prvek je napájen stabilizovaným napětím $2U_3$ přes odpor R_1 . Operační zesilovač OZ_1



Obr. 50. Jiná alternativa symetrického zdroje

pracuje jako invertor, pro jehož výstupní napětí platí

$$U_3 = -U_1 \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

Symetrické kladné výstupní napětí $+U_3$ bude stejné jako $-U_3$, má-li OZ2 zesílení 1, což zajistíme splněním podmínek

$$R_2 = R_3.$$

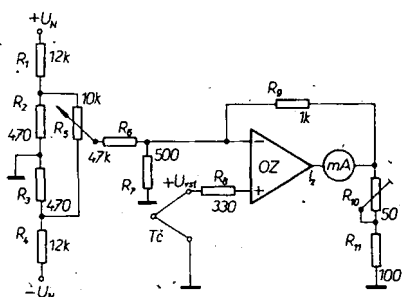
Při použití nekompensované referenční diody jako referenčního prvku lze dosáhnout v rozsahu napětí $U_3 = 1$ až 10 V vnitřního odporu zdroje 10^{-2} až $10^{-3} \Omega$ při teplotním součiniteli výstupního napětí $10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{C}$ a časové stabilitě napětí $10^{-3}/1000$ h. Použije-li se jako referenční prvek teplotně kompenzovaná referenční dioda, zlepšují se uvedené parametry stability alespoň o dva řády.

Kromě toho, že referenční zdroje napětí lze realizovat z diskretních součástek, vyrábějí se průmyslově hybridní i integrované referenční zdroje (např. MAA723).

Měření teploty s termoelektrickým článkem a OZ

Na obr. 51 je typické schéma připojení termoelektrického článku k OZ. Z elektrického hlediska je termoelektrický článek aktivním zdrojem elektrické energie o téměř nulovém vnitřním odporu a velmi malém svorkovém napětí. Typický přírůstek svorkového napětí na 100°C je asi 5 mV . Teploměr ukazuje závislost tohoto elektrického napětí na teplotě. Stupnice takového teploměru je s určitou přesností v široké oblasti měření lineární. Připojení OZ k termoelektrickému článku sleduje obvykle tyto cíle: měřený signál oddělit a zesílit, rozšířit stupnici měřidla a upravit její průběh, aby byl lineární až od „zajímavých“ velikostí teploty.

V našem zapojení je zesílení celého stupně dáno poměrem odporů R_7 a R_9 , potenciometrem R_5 se nastavuje úroveň měřeného signálu – tedy teploty, od níž je výstupní napětí kladné (tedy počátek měření). Vlastní termoelektrický článek je kladným vývodem výstupního napětí připojen k neinvertujícímu vstupu



Obr. 51. Měření teploty termoelektrickým článkem

OZ. Přenos zesilovače je při ideálním OZ dán vztahem

$$\frac{I_L}{U_{in}} = \frac{1}{R_{10} + R_{11}} \frac{R_7 + R_9}{R_7},$$

kde I_L je proud tekoucí do měřidla – miliampérmetru M, jehož stupnice je ocejchována ve stupních teploty a

U_{in} aktivní výstupní napětí termoelektrického článku.

Pro přesné určení teploty platí při použití termoelektrického článku doporučení. Kromě zařízení k vlastnímu měření – snímače – má termoelektrický článek obvykle ještě termostátované srovnávací místo s konstantní teplotou, s níž vlastní teplotu v měřeném místě srovnáváme, a kompenzační vedení, kterým jsou obě místa, měřená a srovnávací mezi sebou propojena.

Vlastní termoelektrický článek je vytvořen bodovým svařením dvou kovů, jejich pásek nebo pouhých drátů. Mezi typické termoelektrické patří např. článek železo-konstantan. Je vhodný pro měření teplot od -200°C do teplot kolem $+900^\circ\text{C}$. Výstupní napětí při 0°C je 0 V , při 100°C $5,37 \text{ mV}$, při 200°C $10,95 \text{ mV}$, při 300°C $16,56 \text{ mV}$, při 500°C $27,85 \text{ mV}$ a při 900°C $53,07 \text{ mV}$. Dalším je článek chromel-kopel. Je vhodný pro teploty od -50°C do $+600^\circ\text{C}$, krátkodobě až 800°C . Výstupní napětí při 0°C je 0 V , při 100°C $6,95 \text{ mV}$, při 200°C $14,66 \text{ mV}$, při 300°C $22,90 \text{ mV}$, při 500°C $40,15 \text{ mV}$ a při 800°C $66,36 \text{ mV}$.

Dále se používají termoelektrické články chromel-alumel pro teploty -50°C až 1000°C , krátkodobě až $+1300^\circ\text{C}$; platinarhodium 10 – platina pro teploty od 0°C do 1300°C , krátkodobě až $+1600^\circ\text{C}$; pro vyšší teploty ještě platinarhodium 30 s platinarhodium 6. Ten lze užívat až do teplot kolem 1800°C .

Kromě těchto „normalizovaných“ termoelektrických článků se používají i mnohé jiné typy. Termoelektrické napětí lze získat při vzájemném spojení prakticky všech kovů. Pro méně náročná měření a amatérské účely se nejvíce používá snadno dostupný termoelektrický článek železo-měď, případně měď-konstantan.

Pro měření s termoelektrickým článkem a zacházení s nimi jsou vydány dvě ČSN normy: ČSN 35 6710, Druhy a napětí termoelektrických článků a ČSN 25 8010, Směrnice pro měření teplot v průmyslu.

Měření teploty na nevyváženém termistorovém můstku

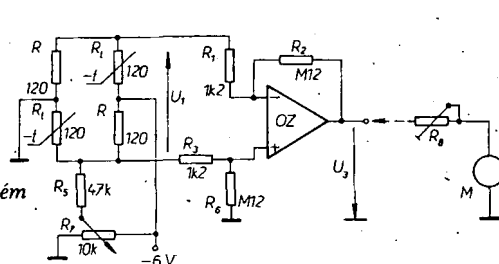
Teplotu lze měřit přímoukazujícím měřicím ručkovým přístrojem připojeným k nevyváženému termistorovému můstku přes operační zesilovač. Termistory jsou vhodné pro měření nízkých teplot v rozmezí -40°C až $+150^\circ\text{C}$. Všechny prvky zapojené v můstku – oba termistory a oba odpory – mají stejný odpor $R = 120 \Omega$. Jeden z termistorů je v místě měření teploty, druhý má být v místě, které má konstantní (vztažnou) teplotu, vůči které vlastně teplotu měříme.

Výstupní napětí je dáno přenosem OZ

$$U_3 = U_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Obr. 52. Měření teploty na nevyváženém termistorovém můstku

v našem konkrétním případě, podle obr. 52, kde $R_2 = 120 \text{ k}\Omega$ a $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$, $U_3 = 100 U_1$.

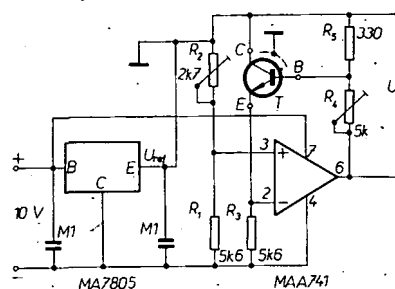


V zapojení musíme dodržet tyto obecné zásady: odpor R_1 má být mnohem větší než poloviční odpor prvků v měřicím můstku; $R_1 = R_3$ a $R_2 = R_4$.

Nulové výstupní napětí U_3 pro zvolenou počáteční teplotu nastavíme potenciometrem nebo trimrem R_7 . Pro přímé měření teploty může být stupnice multimetru M ocejchována přímo ve stupních teploty. Rozsah stupnice upravíme podle potřeby změnou zesílení, tedy nejlépe změnou odporu R_2 .

Obvody převádějící lineární teplotu na napětí

Pro rozsah teplot od -30°C do $+130^\circ\text{C}$ s odchylkou od linearity menší než 1% lze použít zapojení podle obr. 53. V zapojení je využito lineární závislosti napětí báze-emitoru křemíkových tranzistorů na teplotě. Tato závislost je asi $2,2 \text{ mV/K}$.



Obr. 53. Obvod převádějící teplotu na napětí s tranzistorem

Tranzistor T, který je použit jako teplotní čidlo, připojíme k obvodu stíněnými vodiči. Tranzistor předem vyzkoušíme, několikrát zahřejeme a zchladíme v rozmezí požadovaných měřených teplot a teprve potom lepením upevníme do sondy. Lze využít libovolného křemíkového tranzistoru, avšak vzhledem k tomu, že obvykle požadujeme rychlou reakci obvodu na změnu měřené teploty, použijeme tranzistor malých rozměrů. Proudový zesilovací činitel použitého tranzistoru má být v mezích 100 až 200 . Sonda, ve které je tranzistor upevněn, musí odpovídat tvarem a materiálem požadované aplikaci a proto není podrobněji popisována. Zásadně by však měla vyhovět požadavku bezpečnosti při použití síťového zdroje (hlavně při aplikaci v lékařství) a nesmí vlivem nadměrného odvádění tepla zhoršit přesnost měření. Její konstrukce samozřejmě ovlivní i teplotní setrvačnost přístroje.

Přístroj je napájen ze zdroje 10 V . Protože přesnost měření vyžaduje stabilní napájecí napětí, je použit integrovaný stabilizátor napětí MA7805, který stabilizuje referenční napětí obvodu. Tranzistor T je zapojen v jedné úhlopříčce vstupního můstku operačního zesilovače MAA741. Při ohřívání tohoto tranzistoru se zmenšuje napětí mezi bází a emitorem, avšak působením operačního

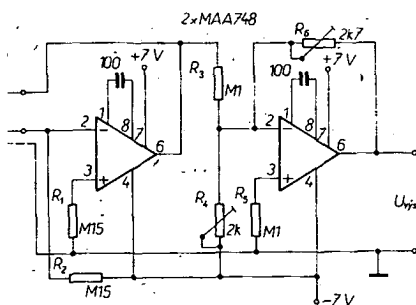
zesilovače a děliče z odporů R_4 a R_5 zůstává napětí U_{CE} na tranzistoru konstantní. Změna napětí mezi kolektorem a bází tranzistoru je úměrná teplotě tranzistoru, použitého jako čidlo. Výstupní napětí U je 0 až 2,5 V pro rozsah měřených teplot 0 až 100 °C. Přístroj nastavujeme takto:

1. Čidlo umístíme do prostředí s teplotou 0 °C, tj. do tavicího ledu a po ustálení teploty nastavíme potenciometrem R_2 nulové napětí U .
2. Čidlo umístíme do vařící vody, tj. 100 °C, a potenciometrem R_4 nastavíme napětí 2,5 V.

Postup několikrát opakujeme a teplotu přitom můžeme kontrolovat jiným teploměrem. Výstup U nesmíme přitom zatěžovat menším odporem než 1 kΩ a je vhodné, je-li tento zatěžovací odpor stejný jako odpor později používaného měřidla nebo navazujícího obvodu. Současně zjistíme tepelnou setrvačnost čidla.

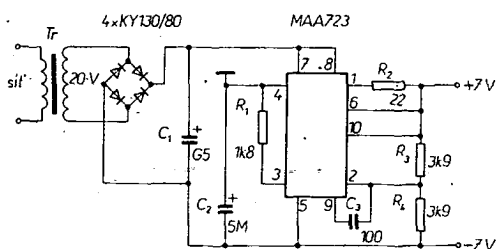
Při měření teplot nižších než 0 °C se změni polarita napětí U . Chceme-li tedy používat k indikaci teploty běžné ručkové měřidlo, je vhodné zvolit na stupnici místo pro teplotu 0 °C přibližně do 1/4 rozsahu (potenciometrem R_2) a stupnici přístroje oceňovat s použitím přesného teploměru v olejové lázni.

Na obr. 54 je schéma zapojení jiného obvodu, který jako čidlo používá namísto tranzistoru diodu. První operační zesilovač typu MAA748 pracuje jako zdroj konstantního proudu 50 μA, který protéká diodou. Proud, tekoucí do invertujícího vstupu operačního zesilovače lze zanedbat, neboť je přibližně o tři řády menší.



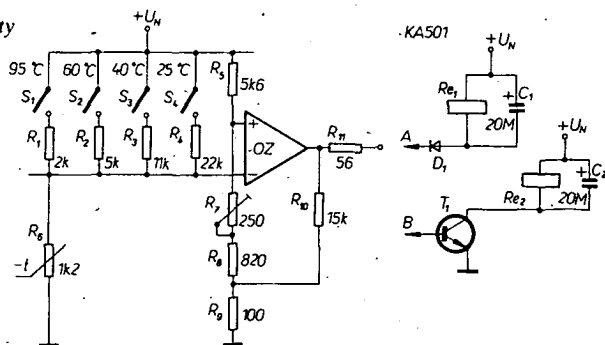
Obr. 54. Obvod převádějící teplotu na napětí s diodou

Napětí, které vznikne na diodě, je úměrné teplotě diody. Toto napětí je zesilováno druhým operačním zesilovačem stejného typu. Potenciometrem R_4 nastavujeme nulové napětí při 0 °C a potenciometrem R_6 nastavujeme zesílení druhého operačního zesilovače tak, aby výstupní napětí odpovídalo požadovanému rozsahu teplot. Výhodou tohoto zapojení je vzájemná nezávislost obou potenciometrů, takže není nutné nastavování opakovat. Diodové čidlo je nutno dokonale odstínit, neboť je připojeno k ob-



Obr. 55. Zdroj ±7 V

Obr. 56. Regulátor teploty

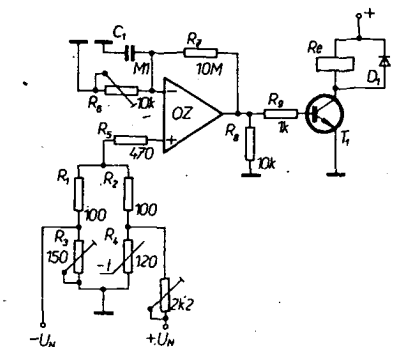
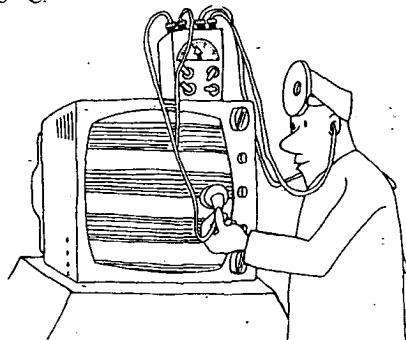


vodu přes poměrně velké odpory a ani jeden z jeho přívodů není uzemněn. Obvod je nutno napájet ze stabilizovaného napájecího zdroje. Lze použít zdroj s integrovaným obvodem typu MAA723 podle obr. 55. Zatěžovací impedance by měla být větší než 10 kΩ.

Regulátor teploty

Regulátor teploty podle obr. 56 má za základ vyvážený termistorový můstek, v jehož úhlopříčce je připojen OZ. Teplotním čidlem je odpor R_6 , který je realizován termistorovým čidlem, které má při 20 °C odpor 1,2 kΩ.

Cinnost přístroje je jednoduchá. Požadovaná teplota se zvolí stisknutím jednoho z přepínačů spínačů S_1 až S_4 (konstrukčně nejlépe tlačítko typu ISOSTAT, u něhož zapnutím jednoho, se zapojí druhý). Spínači se můstku přiřadí vždy jeden z řady odporů R_1 až R_4 . Pokud čidlo, tj. termistor R_6 má v této řadě regulace větší odpor než přísluší požadované teplotě a můstek je proto rozvážený, objeví se na výstupu OZ kladné napětí, relé sepnou svými kontakty topení v prostoru, kde se nachází teplotní čidlo s termistorem R_6 . Když se teplota zvýší natolik, že můstek bude v rovnováze (tj. v úhlopříčce můstku je napětí, které se blíží k nule), napětí na výstupu OZ se zmenší tak, že kotva relé odpadne. Je zřejmé, že odpory R_1 až R_4 , k nimž jsou přiřazeny konkrétní teploty, jsou na schématu pouze pro základní orientaci. Přesné nastavení je závislé na typu i druhu termistoru. Můstek se vyrovnává obvykle pro jednu teplotu přesně tak, že např. pro pozici R_1 vybereme určitý odpor, termistorové čidlo umístíme v lázni o teplotě přesně 20 °C a odporem R_7 při odpojeném odporu R_{10} můstek vyrovnáme na nulové napětí na výstupu OZ. Sepnutí relé při ostatních zvolených teplotách, pokud požadujeme přesné úrovně teploty, musíme zajistit experimentálními změnami odporů R_2 až R_4 . Spínačů S a příslušných odporů může být pochopitelně neomezené množství. Na zapojení je zajímavé to, že OZ pracuje bez zpětné vazby (s plným zesílením), což zaručuje dostatečnou citlivost zařízení. Zajímavé je také zavedení teplotní hystereze pomocí odporu R_{10} . Ten připojíme až po nastavení celého zařízení. Velikost hystereze je v našem zapojení asi 5 °C.



Obr. 57. Regulátor teploty s termistorovým můstkem

Na obr. 57 je analogie regulátoru teploty s termistorovým můstkem pro jednu teplotu nastavenou v tomto případě trimrem R_3 . Na tomto zapojení je zajímavé zejména to, že OZ není připojen k úhlopříčce můstku oběma svými vstupy, ale pouze jedním (neinvertujícím) vstupem. Druhý výstup z úhlopříčky můstku je uzemněn. Citlivost zařízení se pro zvolenou úroveň sepnutí nastavuje trimrem R_6 . Záporná zpětná vazba tvořená tímto trimrem a odporem R_7 spolu s kondenzátorem C_1 je zde nutná proto, že druhý (neinvertující) vstup OZ můžeme nechat nepřipojený. Pro správnou funkci musí být zesílení celého stupně co největší, takže i poměr $R_7 : R_6$, který toto zesílení přímo určuje, musí být dostatečně velký.

Převodník pro měření efektivní hodnoty střídavého napětí

Určit efektivní hodnotu střídavého napětí, které má průběh odlišný od běžného sinusového, není obvykle snadné. V amatérské vysílací praxi se tento problém běžně vyskytuje např. tehdy, když chceme měřit proud do vysílací antény. K měření se v tomto případě používají ampérmetry s termokřížem.

Většina běžných měření efektivní hodnoty nesinusových průběhů je založena na měnicích, které využívají skutečnosti, že efektivní hodnota střídavého proudu je přímo úměrná tepelným účinkům, které tento proud vyvolává.

Jednou z velmi používaných metod je využití operačního zesilovače a nepřímoha-vených termistorů zapojených podle obr. 58. Má-li zesilovač OZ nekonečné zesílení, je můstek v rovnováze (můstek je z odporů R_1 a R_2 a nepřímoha-vených termistorů R_{11} , R_{12}), je-li

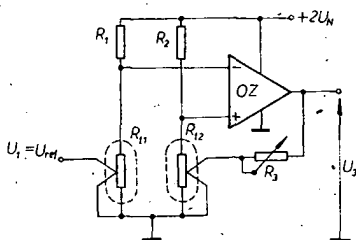
$$\frac{R_1}{R_{11}} = \frac{R_2}{R_{12}}$$

V praxi se obvykle volí $R_1 = R_2$, oba nepřímoha-vené termistory se volí též stejné, $R_{11} = R_{12}$, pak efektivní hodnota střídavého napětí U_1 na vstupu je rovna stejnosměrnému výstupnímu napětí U_2 .

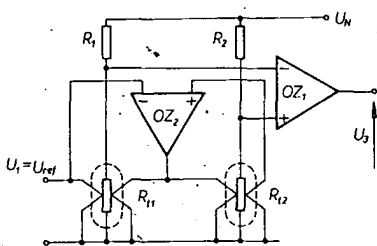
Odporem R_3 nastavíme kompenzační napětí a zároveň nulovou výstupní úroveň napětí U_3 pro nulové vstupní napětí U_1 . K napájení OZ lze v tomto případě použít nesouměrný zdroj o napětí $2U_N$, takže všech tři napětí U_N , U_1 a U_3 v tomto případě mohou mít jeden společný uzemněný bod.

Přesnost měření efektivní hodnoty je dána stálostí parametrů termistorů, souběhem jejich teplotních součinitelů a shodností „topných“ průběhů. Pro amatéry je slabinou použití nepřímých termistorů, které prakticky nejsou na tuzemském trhu pasivních součástek k dispozici. Amatérsky lze takový termistor zhotovit tak, že běžný termistor vyhíváme odporovým vinutím na tělese termistoru. Lze ovšem očekávat, že dosažená přesnost měření bude relativně horší.

Podstatného zvětšení přesnosti výsledků při použití popisované metody lze dosáhnout při použití termistorů se dvěma vinutími (žhavicími vlákny). Vznikne tzv. kompenzovaný můstkový měnič podle obr. 59. Jde



Obr. 58. Převodník efektivní hodnoty střídavého napětí na stejnosměrnou úroveň



Obr. 59. Převodník s teplotní kompenzací

vlastně o stejné zapojení, pouze obvod můstku je doplněn zesilovačem s OZ_2 , jenž napájí kompenzační žhavicí vlákna termistorů. Kompenzační napájení měniče určuje a udržuje teplotu termistorů na konstantní velikosti a tím potlačuje změny odporů v závislosti na změnách střídavého napětí. Z toho důvodu není třeba vybírat termistory na shodnou převodní charakteristiku. Teplotní kompenzace zvětšuje přesnost určení efektivní hodnoty střídavého napětí.

Předností tepelných metod určení efektivní hodnoty střídavého napětí (proudu) je široký kmitočtový rozsah měření a malý vliv činitele tvaru měřeného napětí na přesnost

převodu. Nevýhodou je poměrně velká časová konstanta daná teplotním ustálením a malá přetížitelnost měniče.

Tyto a podobné obvody mají svůj význam nejen při pouhém měření, ale i tehdy, když potřebujeme regulovat či ve zpětné vazbě stabilizovat střídavý proud řízený tyristorovými měniči a v řadě dalších aplikací, zejména v regulaci proudů a napětí nesinusových průběhů.

Převodníky napětí-proud a proud-napětí

Převodník proud-napětí

Nejjednodušším převodníkem proud-napětí je vlastně OZ zapojený v základním zapojení jako invertující zesilovač. Je-li neinvertující vstup OZ uzemněn (přímo nebo i přes odpor pro vyrovnání proudové nesymetrie OZ) a mezi invertujícím vstupem OZ a jeho výstupem je zpětná vazba přes odpor R , platí pro vztah mezi proudem tekoucím do invertujícího vstupu a výstupním napětím U_3

$$I_1 = \frac{U_3}{R}$$

Jedno z možných a mnoha používaných zapojení lineárních převodníků proud-napětí je na obr. 60. Jde o souměrné zapojení, které dokáže převést vstupní proud ± 10 mA na výstupní napětí ± 10 V. Linearita převodu je lepší než 0,1 %. Obvod převrací fázi, takže výstupní napětí má proti napětí způsobujícímu vstupní proud obrácenou polaritu. Převod je volen tak, že přírůstek 1 mV vstupního proudu odpovídá přírůstek výstupního napětí 1 V. Z toho důvodu všechny odpory, které mají vliv na velikost zesílení (v záporné zpětné vazbě) obou zesilovacích stupňů (tedy R_2 , R_3 a R_5) musí být stále a vybrané s přesností 0,1 %

Převodník napětí-proud

V měřicí a regulační technice je častý opačný případ, kdy potřebujeme dobrý analogový převodník napětí-proud, který má být lineární, případně i ocejchovaný tak, že celistvé velikosti přírůstek vstupního napětí odpovídá celistvá velikost přírůstek výstupního proudu.

Jedno z možných zapojení lineárního převodníku s dobrými vlastnostmi, vhodného pro měřicí účely je na obr. 61. Převodník má linearitu přenosu lepší než 0,1 %, což je linearita, která je asi na mezi možností analogových měřicích metod. Zapojení je určeno pro souměrné vstupní napětí v rozsahu ± 10 V, při nichž se výstupní proud mění v rozsahu ± 10 mA. Výstupní impedance je lepší než 10 M Ω . Přenos obvodu je dán vztahem

$$I_{\text{vyst}} = \frac{U_1}{R_6}$$

protože zároveň platí

$$I_{\text{vyst}} = \frac{(U_1 + U_2) - U_2}{R_6}$$

kde U_1 je vstupní napětí a

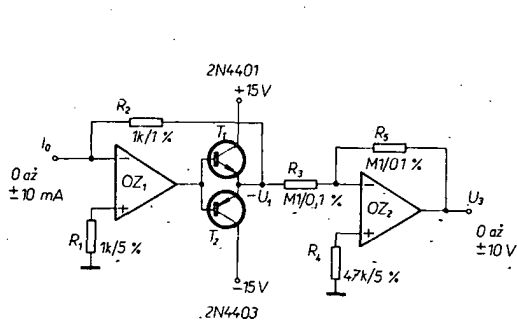
U_2 napětí výstupní.

Na uvedeném vztahu je velmi zajímavá skutečnost, že celkový přenos obvodu je závislý na velikosti jediného odporu R_6 . Změnou tohoto odporu můžeme přímo řídit velikost přenosu.

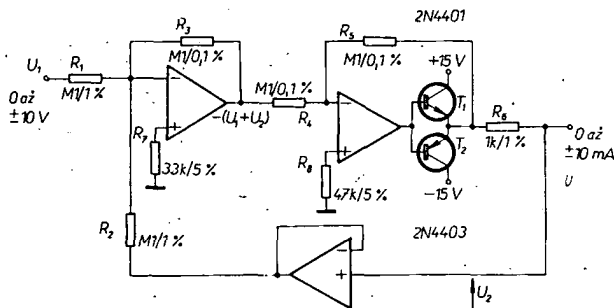
Elektromechanický stabilizátor síťového napětí

Stabilizace a regulace síťového napětí není jednoduchá záležitost. Je pravda, že zavedením tyristorů a triaků se podařilo téměř vytlačit těžké a drahé transformátorové regulátory, ale všechny problémy vyřešeny nebyly. Zvláště se to projevuje v místech s nepravdělným kolísáním napětí, tam kde jde o obzvláště velká zmenšení napětí a kde zároveň potřebujeme výstupní napětí bez rušivých harmonických kmitočtů, tj. sinusové. Dále popisovaný přístroj má mnohé výhody. Lze jej zapojit nejen jako stabilizátor, ale i jako stabilizovaný regulátor síťového napětí 40 až 250 V, dálkově ovládaný zdroj, stabilizátor třífázového napětí tak, že buď měříme chybové napětí v jedné fázi a spojíme mechanicky tři stejné transformátory na jednu otáčkovou osu, kterou otáčí jeden motor přes jednu převodovku. Možné je i tři stejná zařízení sdružit tak, aby se chybové napětí vyhodnocovalo v každé fázi, každá fáze měla svůj regulační transformátor. Na výsledné třífázové napětí je možné zapojit spotřebič jak ve hvězdě, tak v trojúhelníku. Je zřejmé, že podle toho, jde-li o stabilizátor nebo regulátor síťového napětí, musíme otočit regulační transformátor. Použijeme-li zařízení jako stabilizátor síťového napětí 120 nebo 220 V, připojíme síťové napětí na výstup jezdce (tak, jak je to na obou schématech, obr. 62 a obr. 63). Používáme-li zařízení jako regulátor se stabilizovaným výstupem, je výhodné zapojit síťové napětí na příslušnou odbočku 120 nebo 220 V a sekundární napětí odebírat z jezdce regulačního transformátoru. U regulátoru podle obr. 62 je třeba upravit odpory R_1 a R_2 , případně použít Zenerovy diody D_4 a D_5 s menším Zenerovým napětím.

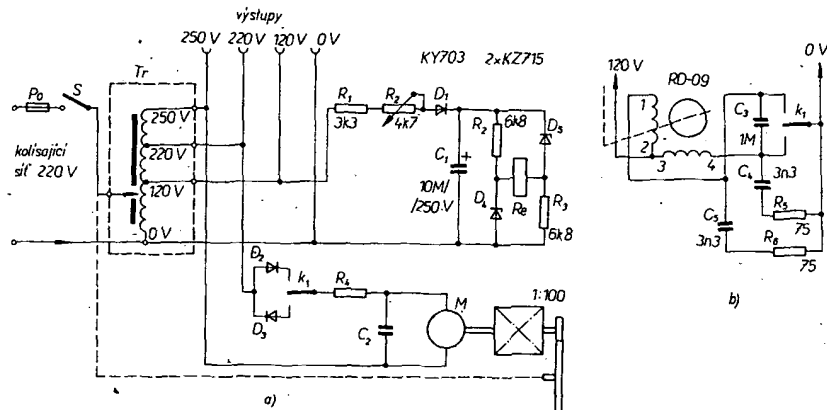
Základní zapojení stabilizátoru síťového napětí je na obr. 62. Stabilizuje napětí 120, 220 a 250 V podle jmenovitých napětí z výstupů (nebo podle původního použití z „vstupů“) regulačního transformátoru Tr. Proudové zatížení je určeno typem použitého regulačního transformátoru Tr. V tuzemsku existují regulační transformátory typu Křížik, nyní je výrobcem regulačních transformátorů ZPA. Přesnost stabilizace není vysoká, pohybuje se od ± 2 do ± 4 %. Nepřesnost je určena citlivostí použitého polarizovaného



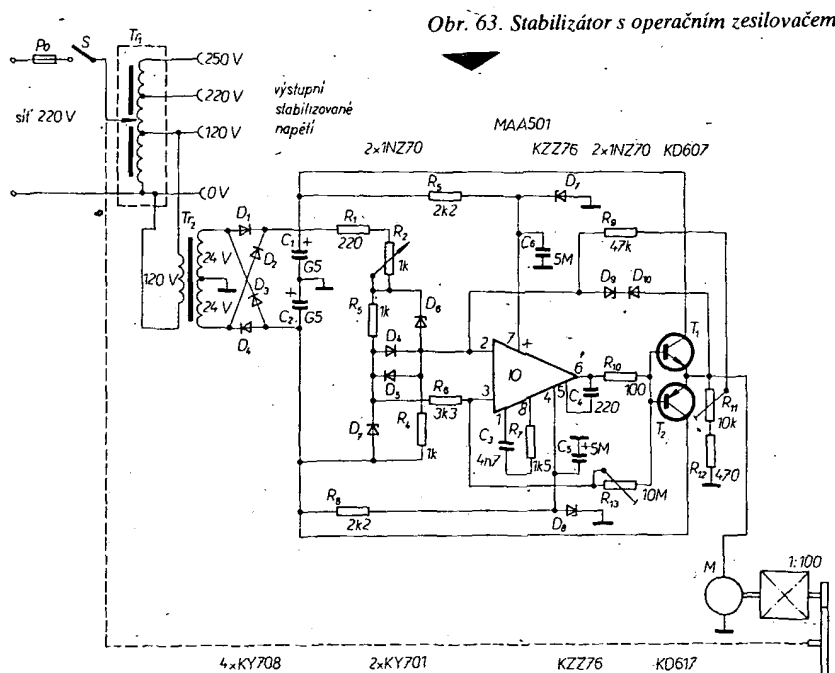
Obr. 60. Převodník I/U



Obr. 61. Převodník U/I



Obr. 62. Elektromechanický stabilizátor síťového napětí; a) se stejnosměrným komutátorovým motorem, b) s reverzačním asynchronním motorem RD 09



Obr. 63. Stabilizátor s operačním zesilovačem

relé Re, v neposlední řadě i jeho hysterezi. Chybové napětí z výstupu 0 a 120 V přes R_1 , R_2 a diodu D_1 nabíjeji kondenzátor C, na kterém je stejnosměrné napětí. Tímto napětím je napájen speciální můstek, složený ze dvou předřadných odporů a dvou Zenerových diod (R_2 , R_3 a D_4 , D_5). Jakmile se napájecí napětí na kondenzátoru zvětší nebo zmenší, můstek se rozváží. V úhlopříčce můstku je připojeno polarizované relé Re, které je neseprnuté, je-li můstek vyvážený. Zvětší-li se chybové napětí, relé sepne „na jednu stranu“. Zmenší-li se chybové napětí, je v úhlopříčce můstku napětí opačné polarity a polarizované relé sepne „na druhou stranu“. Polarizované relé spíná kontaktem napájecí napětí, tj. střídavé napětí 30 V přes diodu D_3 či D_4 , omezovací odpor R_1 pro komutátorový stejnosměrný motor. Ten se točí podle polohy polarizovaného relé buď na jednu nebo na druhou stranu. Hřídel motoru pohání přes převod 1 : 100 hřídel regulačního transformátoru.

Celková funkce je jasná, zmenší-li se chybové napětí, zmenší se napětí na kondenzátoru C. Tím se rozváží můstek, sepne polarizované relé, přes kontakt k_1 se připojí motor, ten se roztáhne a tím i otáčí přes převod regulačním transformátorem tak dlouho, dokud se chybové napětí nezvětší na původní

úroveň. Pak se můstek vyváží, v jeho úhlopříčce je nulové napětí. Relé Re odpadne a motorek se zastaví. Opačně, zvětší-li se chybové napětí, vytvoří se v úhlopříčce můstku opačné napětí, relé sepne „do druhé polohy“, kontakt k_1 připojí druhou diodu a motorek otáčí hřídel regulačního transformátoru Tr opačným směrem do té doby, než opět relé re nerozsepne.

Můstek složený ze dvou Zenerových diod a předřadných odporů lze rozvážit příčným proudem na obě strany. Proto lze potenciometrem R_2 nastavit úroveň výstupního stabilizovaného napětí. Přesnost výstupního napětí, tedy činitel stabilizace, záleží na citlivosti použitého polarizovaného relé Re. Bylo použito sovětské relé RPS-5 s citlivostí 0,12 až 0,18 mA. Na obr. 62b je analogické zapojení s jiným motorem, jehož smysl točení lze měnit tímž kontaktem k_1 relé Re. Jde o reverzibilní asynchronní motor RD-09 sovětské výroby. Funkce je stejná, jako když použijeme stejnosměrný komutátorový motor. Kondenzátory C_1 , C_5 a odpory R_5 , R_6 plní funkci odrušovačích členů, kondenzátor C_3 je funkční k motoru RD-09.

Těm, pro něž není elektronika problémem, je určeno zlepšené zapojení na obr. 63. Zde je nutno použít jako zdroj chybového napětí oddělovací transformátor Tr_2 , 120 V/2 × 24 V; 6 A, který je připojen na výstupní stabilizované napětí. Mezi schémata na obr. 62 a obr. 63 je zřejmá analogie. Chybové napětí, úměrné změně síťového

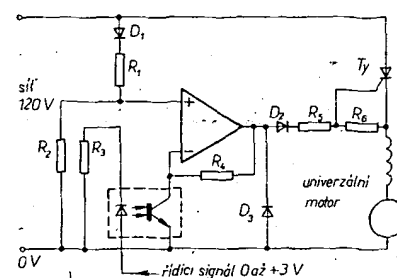
napětí, se objeví po usměrnění na kondenzátorech C_1 a C_5 . Odtud je přes R_1 a R_2 napájen stejný můstek, složený ze dvou Zenerových diod D_4 a D_5 s předřadnými odpory R_3 a R_4 . Můstek lze rozvážovat příčným proudem, který se mění potenciometrem R_1 – takže ten slouží pro nastavení výstupního napětí. V úhlopříčce můstku jsou oba výstupy operačního zesilovače MAA502. R_6 je pouze omezovací ochranný odpor a obě antiparalelně zapojené křemíkové diody D_4 a D_5 typu KY701 ochraňují vstupy operačního zesilovače před zničením, objeví-li se v úhlopříčce můstku velké napětí. R_8 , D_8 a R_5 , D_7 jsou stabilizační členy pro napájení zesilovače. Zesilovač má zápornou zpětnou vazbu přes R_9 , R_{11} a R_{12} , kterou lze optimalizovat trimrem R_{11} . Na výstupu operačního zesilovače jsou připojeny tranzistory T_1 a T_2 , k jejichž emitorům je připojen kolektorový stejnosměrný motor 24 V. Motor se točí buď na jednu nebo na druhou stranu podle toho, je-li v úhlopříčce můstku napětí kladné či záporné. Proto, aby motor „nekmital“ při častých změnách polarity napětí v úhlopříčce můstku, má zesilovač zavedenou umělou hysterezi, která mu dává vlastnosti podobné vlastnostem polarizovaného relé.

Přes odpor R_{13} se zavede na vstup 3 zesilovače kladná zpětná vazba, která způsobí, že k zpětnému přepnutí je třeba poněkud jiné napětí na vstupu 3, než bylo to, které způsobilo na výstupu změnu z kladného napětí na záporné a naopak.

Mechanická část stabilizátoru je stejná jako v předchozím případě, zájemce je možné odkázat na popis podobného zařízení v RADIO (SSSR), č. 6/1969 (Elektromechanický stabilizátor, autoři Apinjan a Koloskov). Závěrem lze pouze podotknout, že složitější zařízení s operačním zesilovačem má asi 2 × lepší stabilizační účinky. Přesnost výstupního napětí je ± 1 až ± 2 %, regulace je bezkontaktní a měla by být spolehlivější.

Zdroj signálu s OZ pro řízení tyristoru

Na obr. 64 je zdroj fázově posuvatelých impulsů pro tyristorovou regulaci nebo ovládání. Na zapojení je zajímavé zejména to, že ačkoli spouštěcí impulsy do tyristoru jsou fázově posouvány v závislosti na stejnosměrném řídícím vstupním napětí, neobsahuje zapojení jako zpěťovací členy kondenzátory. Fázové zpoždění vzniká tím, že se porovnává půlperioada střídavého řízeného napětí, přivedená na neinvertující vstup OZ, se stejnosměrným řídícím signálem, který je získáván z optoelektrického členu, a přiváděn na invertující vstup OZ. Fázové zpoždění výstupního signálu vznikne proto, že se na výstupu OZ objeví kladný výstupní signál až v době, když střídavé napětí na neinvertujícím vstupu OZ bude větší než stejnosměrné, určené řídícím vstupním napětím na invertujícím vstupu OZ. Dělič D_1 a R_1 , R_2 určuje velikost jednocestně usměrněného impulsního napětí na neinvertujícím vstupu OZ.



Obr. 64. Zdroj pro řízení tyristorů s OZ

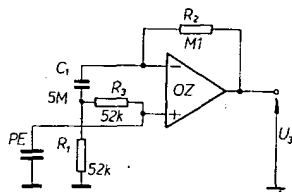
Výhodou celého zapojení je to, že optoelektrický člen zajišťuje galvanické oddělení řídicího vstupního stejnosměrného signálu 0 až 3 V od síťové části a silových členů.

Odpor R_1 tvoří spolu s optoelektrickým členem zápornou zpětnou vazbu. Diody D_2 a D_3 zajišťují, aby se na řídicí elektrodu tyristoru nedostalo náhodně záporné napětí. D_1 až D_4 jsou křemikové usměrňovací diody běžného typu (v originálu všechny 1N2070).

Pro nás je nepříjemné, že použitý optoelektrický člen H11F2 (GE) nemá tuzemský ekvivalent. OZ lze nahradit našim MAA741. Při napájení střídavým napětím 120 V se používají tyto pasivní součástky: $R_1 = 2,5 \text{ M}\Omega$, $R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 50 \Omega$ a $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$. Na obr. 64 je regulován běžný univerzální motorek s kolektorem, obecně může být místo něho zapojena i jiná odporová zátěž.

Připojení piezoelektrického členu k OZ

OZ je obvykle výhodný i jako oddělovací člen i první stupeň dalšího zpracování signálu z piezoelektrického členu (obr. 65). Ve



Obr. 65. Připojení piezoelektrického členu s OZ

schématu na obr. 65 je jedno z možných zapojení, v němž je piezoelektrický člen připojen k neinvertujícímu vstupu OZ.

Při použití OZ typu $\mu A702$ je piezoelektrický člen zatěžován impedancí větší než $5 \text{ M}\Omega$. Zesílení celého stupně je

$$A = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

odpor R_3 lze určit z přibližného vztahu $R_3 \approx R_2 - R_1$.

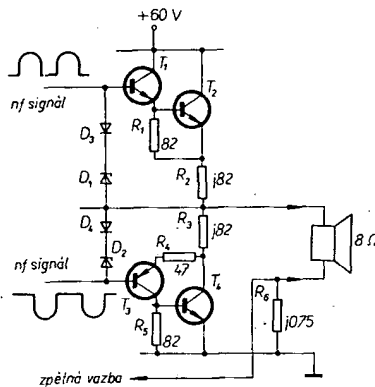
Nf technika

Ochrana koncového stupně nízkofrekvenčního zesilovače

Výkonové tranzistory koncových stupňů nízkofrekvenčních zesilovačů jsou velmi náchylné k destrukci. Obvykle pracují v mezích podmínek, s velkým výkonem do zátěží jako jsou reproduktorové soustavy. Mnohdy i při opatrnosti se může výstup náhodně přetížit nebo zkratovat, což bez omezení výstupního proudu vede k destrukci obvykle pouze koncových výkonových tranzistorů, které jsou neustále poměrně drahou částí zesilovače.

Ochrana tavnou pojistkou je málo účinná, neboť výkonový tranzistor se zničí již prvním proudovým impulsem, který tavnou pojistku „nepřepálí“. V silnoproudé elektrotechnice se sice pro ochrany tyristorů velkých výkonů konstruují speciální rychlotavitelné pojistky, které reagují tak rychle, že spolehlivě chrání polovodičový přechod výkonového tranzistoru, ale dosud se nepodařilo vyvinout podobné tavné pojistky pro proudy mezi 5 až 20 A.

Ochrana spočívající v konstrukci napájecího zdroje, který je třeba navrhout tak, aby nebyl schopen dát do plně otevřených tranzistorů větší proud než povolený, není také uspokojivá.

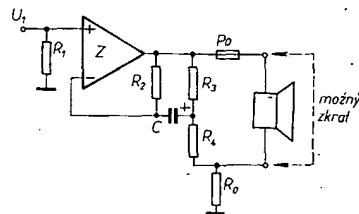


Obr. 66. Ochrana proti přebuzení Zenerovými diodami

Proud koncových tranzistorů lze jednoduše omezit malým odporem nebo elektronickou pojistkou. Omezení pouhým odporem je pro dokonalejší typy zesilovačů nevhodné. Proudové omezení elektronickou pojistkou se používá dosti často, pojistka musí být ovšem dostatečně „rychlá“. Mimo uvedené způsoby se používá celá řada různých ochranných, z nichž některé si ukážeme.

Jedním z velmi jednoduchých způsobů je chránit koncový stupeň pouze proti přebuzení a to omezením napětí na vstupech koncového stupně. Tato ochrana pracuje i při krátkodobém zkratu nebo přetížení na výstupu. Jedno z možných zapojení je na obr. 66, kde je část jednoho kanálu nf zesilovače firmy Fischer typu TX - 1000. V bázích tranzistorů koncového stupně jsou připojeny Zenerovy diody D_1 a D_2 , které nedovolí, aby se tyto tranzistory zcela otevřely vstupním signálem. V našem konkrétním zapojení mají diody Zenerovo napětí $U_Z = 6 \text{ V}$. Protože k plnému otevření tranzistorů je třeba větší napětí než 6 V, nemohou se koncové tranzistory T_1 až T_4 nikdy dostat až do saturace. Nevýhodou ovšem je, že zesilovač musí mít jistou rezervu ve výkonu.

Technicky zajímavý je způsob, který se někdy nazývá „ochrana zesilovače s oddělenou střídavou a stejnosměrnou vazbou“. Schéma je na obr. 67. Podstatnou výhodou je to, že se po zkratu na výstupu přepálí tavná



Obr. 67. Ochrana zesilovače „oddělenou“ střídavou a stejnosměrnou zpětnou vazbou

pojistka, což upozorní obsluhu na závadu. Trojúhelník Z v našem případě nepředstavuje OZ, ale kompletní koncový stupeň nf zesilovače. Jeho stejnosměrné zesílení je dáno zápornou zpětnou vazbou a je

$$A_{ss} = \frac{R_2}{R_1}$$

Má-li kondenzátor C tak velkou kapacitu, abychom při nf kmitočtu mohli jeho impedanci zanedbat, platí pro střídavé zesílení celého stupně

$$A_{si} = \frac{R_2 + R_4}{R_4}$$

$$I_{ZK} = \frac{U_1}{R_0}$$

Vznikne-li na výstupu v místě, do něhož se připojuje reproduktor zkrat, spojí se R_3 a R_4

paralelně, takže při zkratu je střídavé zesílení

$$A_{si} = 1.$$

Je-li zesílení celého stupně $A_{si} = 1$, je na výstupu zesilovače Z výstupní napětí rovno napětí vstupnímu, tedy napětí U_1 . Zkratovým obvodem a tedy i koncovými tranzistory zesilovače Z pak teče zkratový proud

$$I_{ZK} = \frac{U_1}{R_0}$$

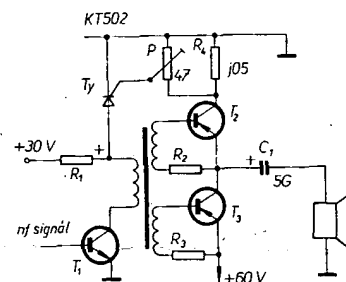
který musí být rovný nebo menší než dovolený proud koncových tranzistorů. Pojistku Po proto volíme tak, aby ji trvalý proud I_{ZK} přepálil.

Výhodou této ochrany je zejména skutečnost, že běžná tavná pojistka Po se při náhodném krátkodobém zkratu nepřepálí, přitom jsou však výstupní tranzistory chráněny. Při trvalém zkratu se pojistka přepálí, což signalizuje závadu, kterou musíme odstranit. Nevýhodou je jistá ztráta výkonu, která vzniká na odporech „ochrany“, tj. na R_2 až R_4 a odporu R_0 .

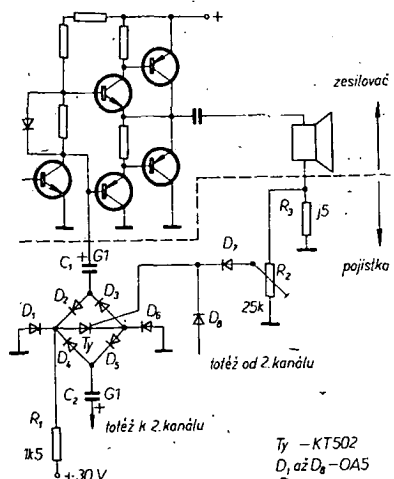
Tyristorové pojistky

Tyristorové pojistky sloužící k ochraně tranzistorů výkonových stupňů nf zesilovačů pracují obvykle takto: ve větvi výstupního proudu ze zesilovače je připojen sériový člen (obvykle pouze odpor), na kterém vzniká úbytek napětí úměrný výstupnímu proudu. Jakmile úbytek napětí na sériovém členu dosáhne nastavené velikosti, otevře se tyristor a zkratuje buď budič signálu koncového stupně, nebo přes omezovací odpor jeho napájecí napětí. Po sepnutí této pojistky se činnost zesilovače obnovuje tak, že jej vypneme a po několika sekundách znovu zapneme. Společnou nevýhodou těchto pojistek je skutečnost, že tyristor je obecně pomalejší prvek než tranzistor a vybavovací doba, tedy doba, kdy pojistka začne reagovat, je obvykle delší, než by v některých případech bylo potřeba. Vybavovací doba může být někdy až řádu ms a nevzniká tedy žádná časová rezerva – pojistka sice pracuje, ale její vybavovací doba je stejného řádu jako doba, za kterou dochází k destrukci výkonových tranzistorů koncového stupně. Nicméně se tyto pojistky hojně používají, a to zejména pro jejich jednoduchost. Uvedený nedostatek se odstraňuje např. tím, že se lavinovitému zvětšování zkratového proudu tranzistorů zabránuje omezovacím odporem, který zároveň slouží jako prostředek k získání chybového signálu pro pojistku.

Jedno z nejjednodušších zapojení tyristorové pojistky je na obr. 68. Na malém sériovém odporu R_4 vzniká „chybové“ napětí. Bude-li proud koncového tranzistoru T_2 větší, než je zvolený (nastavuje se odporovým trimrem P), otevře se tyristor a zkratuje budič napětí celého stupně tak, že vyřadí z činnosti tranzistor T_1 .



Obr. 68. Tyristorová pojistka



Obr. 69. Jiná tyristorová pojistka

Při návrhu pojistky si je nutno uvědomit, že minimální spínací kladné napětí (na běžci trimru P), které má sepnout tyristor, musí být asi +0,8 V. Zároveň je nutno brát v úvahu i to, že tyristor sepne až tehdy, až se zvětší emitorový proud tranzistoru T₂. Pokud porucha nastala při průchodu proudem tranzistoru T₃, pojistka „čeká“ až dojde k poruše v jistěné větvi. Po sepnutí pojistky je samozřejmě chráněn i tranzistor T₃. Tyristor v souladu s tím, co jsme si řekli obecně o tyristorových pojiskách koncových stupňů nf zesilovačů, bude uveden do nevodivého stavu až když se napětí +30 V, napájecí tranzistor T₁, zmenší na nulu, což se obvykle zajistí vypnutím celého zesilovače.

Složitější typ tyristorové pojistky, která pracuje současně pro oba kanály stereofonního nf zesilovače, je na obr. 69. Vzhledem k tomu, co jsme si uvedli o tyristorových pojiskách, není třeba činnost tohoto zapojení složitě popisovat. Snad jen to, že pojistka pracuje jen pro střídavý signál, takže jakmile zmizí příčina zvětšeného proudu odporem R₃, tyristor Ty bude samočinně uveden do nevodivého stavu. S proudem, při němž tyristor zkratuje budící signál koncových tranzistorů na zem, lze přesně nastavit odporovými trimry v každém kanálu zesilovače. V obr. 69 je to trimr R₂. Při poruše signálu v jednom kanálu vyzkratuje se budící signál v obou kanálech stereofonního zesilovače.

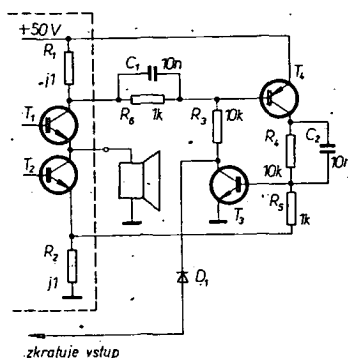
Tranzistorové pojistky

Jednoduchá pojistka pro ochranu koncového stupně výkonového stupně nf zesilovače s tranzistorem, který spíná kolektorový

proud tranzistoru na vstupu koncového stupně a tím odpojuje buzení koncového stupně nf signálem, je na obr. 70. Předností této pojistky je to, že v obvodu výstupního signálu není zařazen žádný pasivní odpor, na němž by vznikala výkonová ztráta. Úroveň sepnutí, při níž se otevře tranzistor T₁, se nastavuje odporovým trimrem P. Zjevnou nevýhodou uvedeného zapojení je skutečnost, že na článku z C₁R₁C₂R₂ vzniká poměrně značné časové zpoždění signálu. Pojistku tohoto typu užívala u některých starších typů svých komerčních výkonových tranzistorových nf zesilovačů firma Hitachi.

Jednoduchá a účinná tranzistorová pojistka koncového stupně je na obr. 71. T₁ a T₂ jsou chráněné tranzistory koncového stupně, vlastní pojistku tvoří obvod tranzistorů T₃, T₄. Chybové napětí vzniká na odporech R₁ a R₂ a zavádí se do bází obou tranzistorů souměrně přes odpory R₅ a R₆. Pojistka nemá žádnou regulaci. „Hlídaný“ proud je dán odpory R₁ a R₂ a omezovacími odpory R₅ a R₆.

Další typ velmi rychlé tranzistorové pojistky, která je použita v komerčním zesilovači CAMBRIDGE P40, je na obr. 72. Obvod pojistky tvoří tranzistory T₁, T₈ a T₇ a příslušné pasivní součástky (ve schématu na obr. 72 jsou jejich hodnoty). Na rozdíl od relativně „pomalých“ tyristorových pojisek má tato pojistka vybavovací dobu mnohokrát kratší, řádu μs. Tranzistory T₈ a T₇ tvoří bistabilní klopný obvod, který se překlápí, jakmile se na R₅ zvětší úbytek napětí tak, aby se přes R₆ otevřel tranzistor T₈. Jakmile se překlápí bistabilní obvod tak, že se emitor T₁ připojí na napájecí napětí -60 V a T₁ otevře se a zkratuje nf signál na bázích tranzistorů T₄ a T₃. Do výchozí polohy se obvod T₈ a T₇ dostane až po vypnutí a zapnutí zesilovače (tj. napájecího napětí -60 V).



Obr. 71. Tranzistorová pojistka

Číslicové obvody

Monostabilní klopné obvody

Tyto obvody generují v závislosti na vstupním signálu—impuls definovaného tvaru. Vstupním signálem je v číslicových obvodech změna logické úrovně. Některé monostabilní klopné obvody využívají zpoždění průchodu signálu logickými členy, jiné využívají vnějších pasivních prvků, nebo prvků zhotovených v tuhé fázi uvnitř integrovaného obvodu.

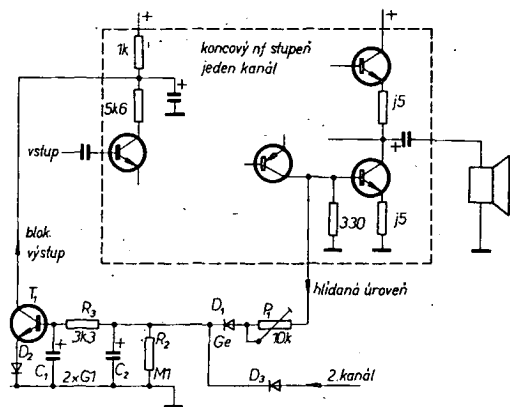
Na obr. 73a je monostabilní klopný obvod, který s náběžnou hranou vstupního impulsu generuje krátký impuls o šířce určené zpožděním signálu v hradlech NAND. Obvod je schopen pouze zmenšovat dobu trvání vstupního impulsu. Pokud je doba trvání vstupního impulsu kratší než doba průchodu logického signálu třemi hradly NAND, bude i výstupní impuls kratší.

Na obr. 73b je jiné zapojení monostabilního obvodu. Tento obvod má při stejném počtu hradel ještě k dispozici i negovaný výstupní impuls. Také u tohoto obvodu vstupní impuls kratší, než je doba zpoždění v hradlech 2, 3 a 1, má za následek zkrácení doby trvání výstupního impulsu. Obě zapojení lze upravit prodloužením řetězce logických členů pro větší šířku výstupních impulsů. Zapojení lze upravit tak, že zapojíme za obvody označené 2 sudý počet hradel. Při použití integrovaných obvodů MH7400 a MH7404 je doba zpoždění signálu v každém členu asi 15 ns.

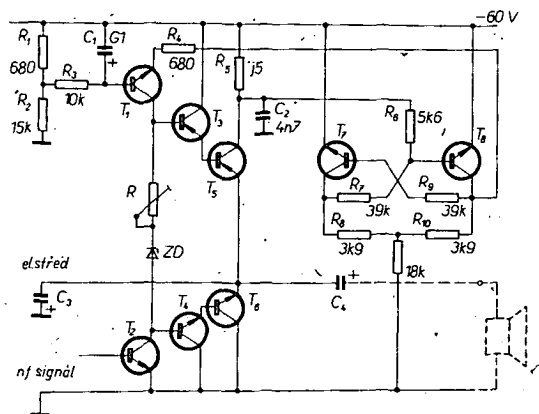
Požadujeme-li dlouhou dobu trvání výstupního impulsu, je hospodárnější použít pasivní členy R a C. Na obr. 73c je monostabilní obvod pro zkracování impulsů, který se skládá pouze ze dvou invertorů. Reaguje na sestupnou hranu vstupního impulsu. Odpor musí být menší než 470 Ω. Doba trvání výstupního impulsu je přibližně určena součinem RC.

Obvod, který obsahuje dvouvstupové hradlo NAND, zamezuje dalšímu vlivu vstupního impulsu vazbou z výstupu na vstup. Šířka výstupního impulsu tedy nezávisí na délce vstupního impulsu. Obvod je na obr. 73d. Lze jej použít ke zkracování i prodloužování doby trvání výstupního impulsu. Tato doba je opět určena součinem RC. Vliv teploty na citlivost hradel, která délku impulsu ovlivňuje, je kompenzován křemíkovou diodou. Negátor na výstupu zlepšuje strmost sestupné hrany výstupního impulsu.

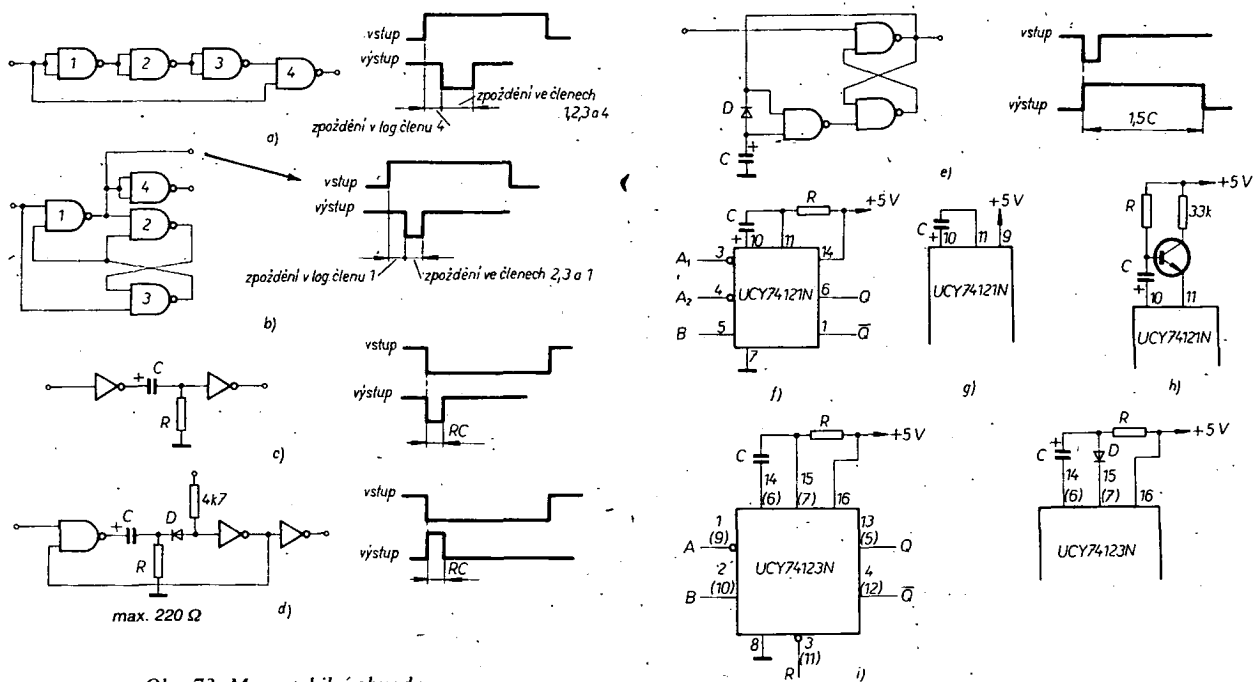
Obvod vhodný pouze k prodloužování impulsu je na obr. 73e. Využívá se klopného obvodu R-S, který zajišťuje dobrou strmost hran výstupního impulsu. Signál log. 0 na vstupu překlápí klopný obvod a kondenzátor se počne nabíjet proudem tekoucím vnitřním



Obr. 70. Jednoduchá tranzistorová pojistka



Obr. 72. Tranzistorová pojistka s bistabilním klopným obvodem



Obr. 73. Monostabilní obvody

odporem hradla. Po nabití kondenzátoru na napětí odpovídající úrovni log. 1 překlopí klopný obvod zpět a kondenzátor se ihned vybije v obvodu diody a výstupu horního hradla. Obvod je schopen ihned přijmout další impuls.

Pro úpravy impulsů jsou vyráběny speciální integrované obvody UCY74121N a UCY74123N.

Obvod UCY74121N je monostabilní multivibrátor s mnohostranným použitím; kromě jiného je v něm kompenzován teplotní vliv na šířku výstupních impulsů. Odchylka je $\pm 0,5\%$ v rozsahu doporučených pracovních podmínek. Vliv teploty na obvod je tedy určen pouze vlastnostmi vnějších pasivních prvků. Na obr. 73f je zapojení monostabilního obvodu. Odpor R je možno volit v rozsahu $2,2\text{ k}\Omega$ až $40\text{ k}\Omega$ a kondenzátor C v rozsahu 10 pF až $1000\text{ }\mu\text{F}$. Šířku výstupních impulsů lze těmito prvky nastavit v rozsahu 40 ns až 40 s . V obvodu lze též využít vnitřního odporu $2\text{ k}\Omega$ tím, že propojíme vývod 9 s napětím $+5\text{ V}$ na vývodu 14. Tím odpadne nutnost použít vnější odpor R (obr. 73g).

Klopný obvod startujeme sestupnou hranou vstupního signálu logické úrovně na vstup A_1 nebo A_2 . Vstup B musí přitom být na úrovni log. 1. Jinou možností je startovat klopný obvod náběžnou hranou vstupního impulsu do vstupu B , přičemž vstupy A_1 nebo A_2 jsou na úrovni log. 0.

Při šířkách výstupních impulsů větších než $0,5\text{ s}$ je nutno používat obvykle elektrolytické kondenzátory; jejichž elektrické vlastnosti neumožňují dobrou opakovatelnost šířky impulsů (vlivem je např. teplotní závislost kapacity, stárnutí a doby, potřebné k formování kondenzátorů). Zapojením podle obr. 73h lze zvětšit nabíjecí odpor až na $1\text{ M}\Omega$ a tím zmenšit kapacitu kondenzátoru. Podmínka pro vnější odpor na vstupu 11 je díky impedančnímu přizpůsobení v tranzistoru zachována. Šířka výstupního impulsu je určena vztahem

$$t \approx 0,7RC$$

Obvod UCY74123N obsahuje dvojici monostabilních spouštěvých multivibrátorů s možností nulování. Připojením log. 0 na vstup nulování je možno generovaný impuls zkrátit. Obvod je rovněž teplotně kompenzován a má pouze dva ovládací vstupy A a B . Výstupní impuls lze startovat takto:

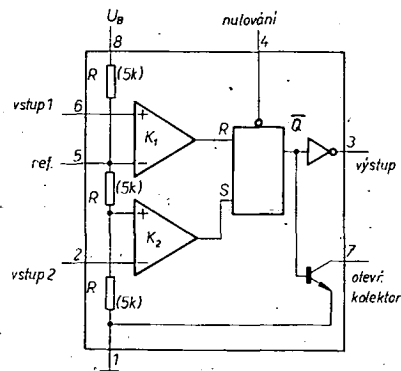
a) je-li na obou vstupech log. 0 a vstup A přejde do stavu log. 1,

b) jsou-li na obou vstupech log. 1 a vstup B přejde do stavu log. 0.

Dojde-li u tohoto obvodu k jednomu z uvedených stavů znovu během generování výstupního impulsu, je výstupní impuls, který je určen vnějšími členy R a C , znova generován – tím se výstupní impuls prodlužuje.

Vnější prvky se připojují podle obr. 73i. Pokud je kapacita kondenzátoru větší než 1000 pF , nebo je-li použit elektrolytický kondenzátor, zapojuje se do vnějších obvodů dioda D podle obr. 73j.

Pro úpravu impulsu lze použít také univerzální časovací obvod 555 (např. NE555). Vnitřní uspořádání tohoto integrovaného obvodu je na obr. 74; obvod má celkem 8 vývodů. Mezi vývody 8 a 1 jsou v sérii zapojeny tři stejné odpory $5\text{ k}\Omega$. Tyto odpory tvoří napěťový dělič mezi napájecími vývody. Napájecí napětí U_B tak vytváří referenční napětí $1/3 U_B$ a $2/3 U_B$, která jsou připojena ke vstupům komparátorů K_1 a K_2 . Napětí $1/3 U_B$ se přivádí na neinvertující vstup K_1 a napětí $2/3 U_B$ na invertující vstup K_2 . Druhé dva vstupy komparátorů jsou z IO vyvedeny (vývody 2 a 5). Na oba komparátory navazuje klopný obvod R-S, který upravuje strmost obou hran výstupního impulsu. Klopný obvod R-S lze vnějším logickým signálem nulovat. K tomu slouží vývod 4. Úroveň log. 0 na tomto vývodu nastaví klopný obvod tak, že výstup \bar{Q} je na úrovni log. 1. Propojí-li se vývod 4 s vývodem 8, tj. s napájecím napětím U_B , neovlivňuje tento vstup činnost obvodu.



Obr. 74. Obvod 555 – vnitřní uspořádání

Když je napětí na neinvertujícím vývodu prvního komparátoru (K_1) větší než $2/3 U_B$, překlopí vývod z komparátoru klopný obvod R-S stejně jako při nulování. Na klopný obvod navazuje negátor, jehož výstup lze zatížit proudem až 200 mA na vývodu 3. Strmost hran výstupního impulsu je přitom lepší než 100 ns .

Když je napětí na vývodu 2 menší než $1/3 U_B$, nastaví se výstup 3 na úroveň log. 1. Při napájecím napětí U_B rovném 5 V lze výstupní impulsy navázat na logické obvody TTL.

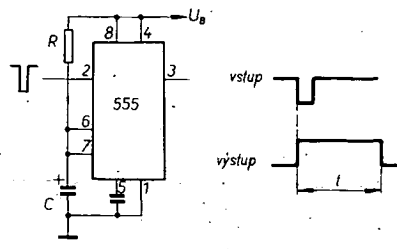
Vývod 7 lze použít jako výstup s otevřeným kolektorem, který má souhlasnou logickou úroveň s výstupem na vývodu 3.

Z obvodu je dále vyvedeno referenční napětí K_1 , tj. napětí $2/3 U_B$. Pokud využíváme k odvození referenčních napětí napájecího napětí U_B , připojíme k tomuto vývodu filtrační kondenzátor. K tomuto vývodu lze připojit vnější referenční napětí se stabilitou lepší, než má napájecí napětí. Tímto napětím ovlivníme i referenční napětí komparátoru K_2 , které bude mít poloviční velikost.

V zapojení IO typu 555 jako monostabilní obvod (obr. 75) určuje dobu trvání výstupního impulsu výraz

$$t \approx 1,1RC$$

V klidovém stavu je tranzistor uvnitř IO v sepnutém stavu a protože je připojen ke kondenzátoru C , je tento kondenzátor vybíjen. Výstupní napětí na vývodu 3 je na úrovni log. 0. Obvod nastartujeme impulsem na

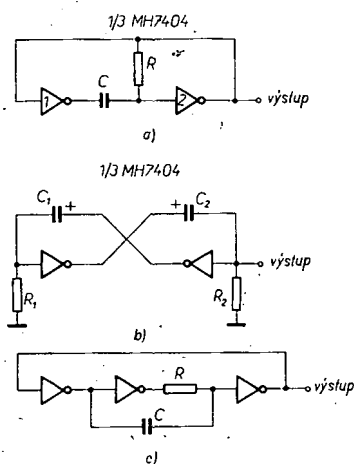


Obr. 75. Monostabilní obvod s použitím IO typu 555

vstupu 2, jehož amplituda bude při přechodu z úrovně log. 1 na úroveň log. 0 menší než $1/3 U_b$. Při zmenšení vstupního napětí pod tuto velikost se výstup nastaví na úroveň log. 1. Nyní je vnitřní tranzistor v nevodivém stavu a kondenzátor se začne nabíjet proudem, který protéká odporem R . Když je napětí na kondenzátoru (vstup 6) větší než $2/3 U_b$, klopný obvod se přepne zpět a na výstupu je úroveň log. 0. Tranzistor současně vybije kondenzátor C a obvod je připraven pro další impuls. Kondenzátor mezi vývodem 5 a záporným pólem zdroje filtruje referenční napětí.

Astabilní klopné obvody a generátory impulsů

Astabilní klopné obvody vytvářejí sled impulsů definovaného tvaru. Zpětná vazba určuje kmitočet těchto impulsů. Nejjednodušší astabilní obvod, který využívá dvou negátorů TTL, je na obr. 76a. Kondenzátor C se nabíjí (případně vybíjí) proudem tekoucím odporem R na úroveň logického stavu,



Obr. 76. Jednoduché astabilní obvody

ktejž je na výstupu z negátoru 2. Když se toto napětí rovná mezní logické úrovni, změní oba negátory svůj stav a kondenzátor se opět vybíjí (popř. nabíjí) na úroveň výstupu negátoru 2. Děj se trvale opakuje. Velikost odporu R je nutno volit asi 220 Ω . Doba nabíjení a vybíjení kondenzátoru je přibližně určena součinem $2RC$. Kmitočet výstupních impulsů se střídou 1:1 je

$$f \approx \frac{1}{4RC}$$

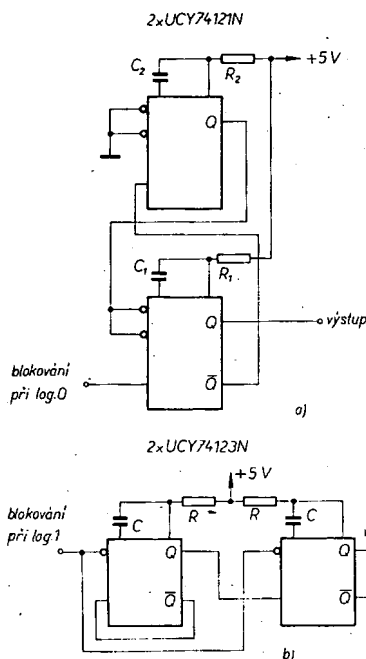
Jiné zapojení podle obr. 76b je symetrický astabilní obvod. Obvod pracuje v širokém rozsahu kmitočtů, neboť zapojení umožňuje použít elektrolytické kondenzátory. V praxi lze obvod využít pro rozsah kmitočtů 0,1 Hz až 10 MHz. Velikost odporů R_1 a R_2 musí být v mezích 1 až 5 k Ω . Kmitočet vstupního signálu určuje přibližný vztah

$$f \approx \frac{1}{2RC}$$

V obou zapojeních kmitočet značně závisí na napájecím napětí a teplotě okolí.

Na obr. 76c je nesymetrický astabilní klopný obvod, využívající tři negátory. Kmitočet výstupního signálu je přibližně opět

$$f \approx \frac{1}{2RC}$$



Obr. 77. Generátory impulsů s integrovanými obvody UCY74121N a UCY74123N

Obvod není vhodný pro nízké kmitočty, ale naopak ho lze při malých R a C využívat pro kmitočty vyšší než 10 MHz.

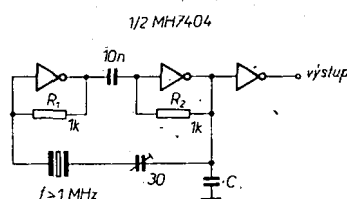
Zavedením vhodné zpětné vazby lze ve funkci generátorů impulsů použít i integrované monostabilní multivibrátory typu UCY74121N a UCY74123N. Vzhledem k teplotní kompenzaci je lze použít v náročnějších aplikacích (s požadovanou přesností kmitočtu až 1 %).

Na obr. 77a je zapojení generátoru impulsů, který lze blokovat vnější logickou úrovní, využívající dvou obvodů UCY74121N. Kmitočet tohoto generátoru je určen vztahem

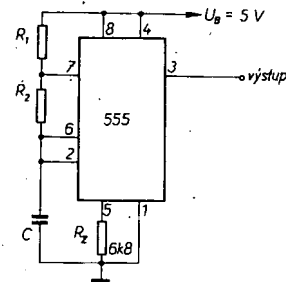
$$f \approx \frac{1}{0,7(R_1C_1 + R_2C_2)}$$

Na obr. 77b je zapojení generátoru impulsů s dvojicí monostabilních multivibrátorů v jediném pouzdře, UCY74123N. Odpory R volíme v rozmezí 5 až 50 k Ω , kapacitu kondenzátorů 100 pF až 1000 μ F. Kmitočet obvodu lze volbou kondenzátorů a odporů nastavit v rozmezí 0,1 Hz až 5 MHz. Pro použití kondenzátorů a pro dobu trvání impulsu v závislosti na volbě R a C platí stejná pravidla, jaká byla uvedena u monostabilních obvodů s tímto IO. Impulzy prvního monostabilního obvodu se po uplynutí doby určené vnějšími pasivními prvky ihned znovu startují. Protože je jejich šířka asi 20 ns, což nevyhovuje katalogovým údajům číselových obvodů TTL, jsou v druhém obvodu upraveny obvody se stejnými odpory a kondenzátory na impulsy se střídou 1:1. Obvod lze opět blokovat vnějším logickým signálem.

Pro generování kmitočtů s větší přesností, např. pro měřicí účely, je nutno používat krystalem řízené generátory impulsů. Na obr. 78 je zapojení generátoru, využívajícího tři negátory TTL typu MH7404. Obvod je vhodný pro krystaly s kmitočtem vyšším než 1 MHz. Pro nižší kmitočty je nutno použít



Obr. 78. Generátor impulsů s krystalem



Obr. 79. Astabilní klopný obvod s IO typu 555

místo odporu R_1 cívku s indukčností asi 10 mH, avšak z hlediska spolehlivosti je lépe použít tranzistorové oscilátory. Třetí negátor odděluje obvod krystalu od následujících obvodů a tak zlepšuje stabilitu kmitočtu. Kondenzátor C zlepšuje vlastnosti obvodu a volí se přibližně 300 pF pro kmitočet 2 MHz. Pro kmitočet 5 MHz má kapacitu asi 120 pF. Pro kmitočty vyšší ho lze vynechat.

Univerzální časovací obvod typu 555 lze použít také jako generátor impulsů. Schéma zapojení je na obr. 79. Kmitočet výstupních impulsů je určen členy R_1 , R_2 a C . Napětí na kondenzátoru C je připojeno k oběma komparátorům (obrázku 79) obvodu 555 paralelně. Když je toto napětí větší než je referenční napětí komparátoru K_1 , vytvoří se na výstupu 3 úroveň log. 0. Tranzistor na výstupu 7 je sepnut a kondenzátor C se počne vybíjet proudem tekoucím odporem R_2 . Vybije-li se kondenzátor pod úroveň referenčního napětí K_2 , přepne se klopný obvod R-S, výstup 3 změní logickou úroveň a vnitřní tranzistor se uvede do nevodivého stavu. Kondenzátor C se počne opět nabíjet a tento děj se trvale opakuje.

Požadujeme-li, aby obvod generoval impulsy se střídou 1:1, tj. aby se kondenzátor stejnou dobu nabíjel i vybíjel, je nutno doplnit obvod odporem $R_2 = 7 \text{ k}\Omega$ a R_1 volit stejně velký jako R_2 . Pro kmitočet platí vztah

$$f \approx \frac{0,72}{R_1C}$$

pro $R_1 = R_2$.

Nahradíme-li odpor v obr. 79 filtračním kondenzátorem a nedodržíme-li podmínku $R_1 = R_2$, bude střída výstupních impulsů záviset na velikosti a poměru obou odporů. Nabíjecí čas t_n bude přibližně určen vztahem

$$t_n \approx 0,64(R_1 + R_2)C$$

a vybíjecí čas

$$t_b \approx 0,64R_2C$$

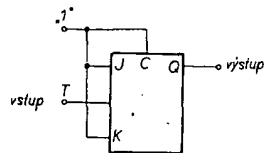
Pro kmitočet bude platit vztah

$$f \approx \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Děliče kmitočtu a čítače

Děliče kmitočtu a čítače patří mezi základní obvody číselové techniky. Uspořádáním se obvykle přilíhají od sebe neliší a také použité číselové integrované obvody bývají stejné. Hlavní rozdíl je v jejich použití a připojení navazujících obvodů.

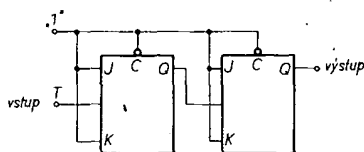
Děliče kmitočtu mají za úkol vytvářet výstupní impulsy o kmitočtu několikanásobně nižším, než je kmitočet vstupních impulsů. Dělí tak kmitočet určitým celým číslem, tzv. dělicím poměrem. Jejich použití v číselové technice je velmi rozmanité. Jako příklad uvedme získávání časových impulsů, kdy



Obr. 80. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:2

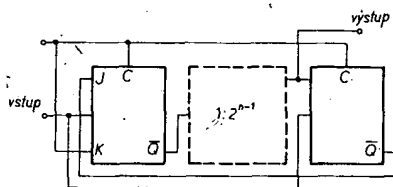
postupným dělením kmitočtu krystalu (řádů několik MHz) získáváme sekundové, minutové a hodinové impulsy. Používáme-li v tomto případě obvody děliče také k indikaci okamžitých hodnot, jako je tomu u digitálních hodin, můžeme obvod považovat současně za dělič kmitočtu i čítač.

Nejjednodušší zapojení děliče kmitočtu s dělicím poměrem 1:2 je na obr. 80. Zapojení využívá klopného obvodu J-K, lze použít např. integrovaný obvod MH7472. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:4 je na obr. 81 (UCY7473N). Podobným způsobem lze rozšiřovat použití klopných obvodů J-K pro sudý dělicí poměr $1:2^n$, kde n je počet použitých klopných obvodů. Pokud chceme



Obr. 81. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:4

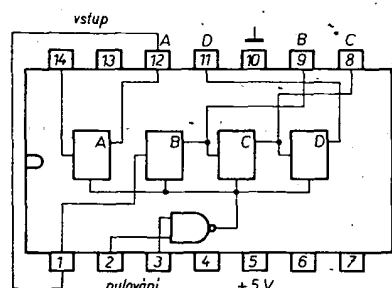
dělit vstupní kmitočet lichým číslem, musíme upravit zapojení tak, že k děliči kmitočtu s dělicím poměrem $1:2^n$ přidáme ještě další obvod J-K, který po naplnění děliče aktivujeme a který se překlopí na další vstupní impuls. Obecně je toto zapojení zobrazeno na obr. 82 pro dělicí poměr $1:(2^n + 1)$. Dělič kmitočtu lze řadit za sebe, takže



Obr. 82. Dělič kmitočtu s dělicím poměrem $1:(2^n + 1)$

připojíme-li např. dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:3 výstupem na vstup děliče s dělicím poměrem 1:7, získáme dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:(3×7), tj. 1:21.

Pro větší dělicí poměry je výhodnější použít integrované obvody s několika klopnými obvody J-K v jednom pouzdře, např. MH7493. Tyto obvody mají vyvedeny z pouzdra nulovací vstupy, jimiž lze vynulovat všechny klopné obvody J-K, jak je zřejmé z obr. 83. Těchto vstupů lze využít k úpravě



Obr. 83. IO MH7493

dělicího poměru obvodu. Jedná se o tzv. zkracování početního cyklu obvodu. Jakmile se současně objeví na obou nulovacích vstupech úroveň log. 1, je splněna podmínka nulování. Vynulování všech klopných obvodů proběhne velmi rychle a prakticky se zpoždění projeví až při mezních kmitočtech integrovaného obvodu. Na obr. 84 jsou uvedeny všechny možné kombinace propojení jednoho integrovaného obvodu typu MH7493 bez přidavných logických členů. Zbývající kombinace v rozsahu dělicích poměrů 1:2 až 1:16 lze zapojit s přidavným logickým členem NAND a negací podle obr. 85.

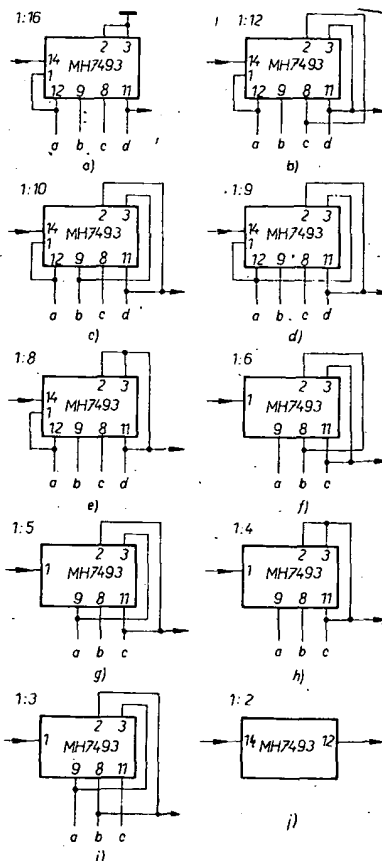
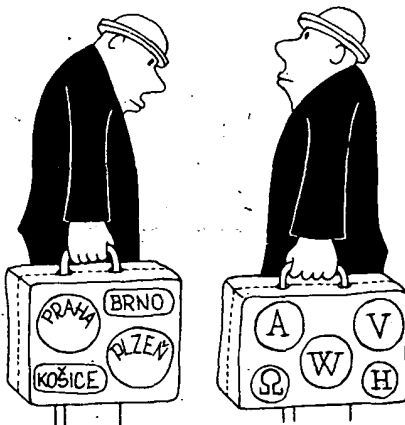
Pokud požadujeme obvod s dělicím poměrem větším než 1:16, nevystačíme s jedním obvodem MH7493 a musíme řadit několik obvodů do série. Někdy je nutno, pro dělicí poměry větší než 1:16,ázat nulovací obvody na výstupy sousedních klopných obvodů. Takových kombinací je neomezené a pro prvočísla do 379 jsou rozkresleny v AR B1/1979.

Čítače mají na rozdíl od děličů kmitočtu obvykle za úkol registrovat počet vstupních impulsů. Podle účelu použití pracují čítače v různých kódech, mohou být vratné, mohou mít možnost přednastavení počáteční hodnoty atd. Dále bývají doplněny obvody k přepisu jejich obsahu, obvody indikace obsahu, obvody komparace a nulování.

V základním zapojení mohou být čítače sestaveny ze stejných klopných obvodů jako děliče podle obr. 80 až 85. V integrované verzi jsou nejobvyklejší obvody typu MH7490, MH7493, MH74192 a MH74193. Obvody MH7490 a MH74192 se používají pro čítače v kódu BCD. Zapojení a použití uvedených obvodů je zřejmé z katalogu TESLA Rožnov.

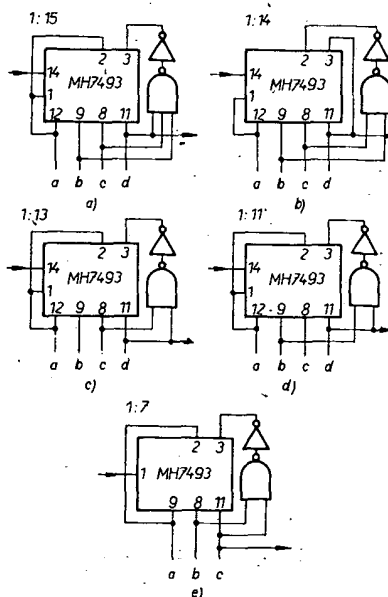
Obvykle potřebujeme obsah čítače též indikovat a porovnávat s předem nastavenou velikostí. Na obr. 86 je schéma univerzálního čtyřdekádového čítače v kódu BCD s použitím integrovaných obvodů typu MH7490. Všechny bity tohoto čítače jsou připojeny k dvojčinným klopným obvodům D, které jsou ve čtveřicích v pouzdře integrovaného obvodu MH7475. Přivedeme-li ke vstupům ZÁPIS krátký jedničkový impuls, přepíše se obsah čítače do těchto klopných obvodů a se sestupnou hranou tohoto impulsu se klopné obvody opět zablokují. Hodnota čítače tedy zůstane „zapsána“ v klopných obvodech. Tento obvod se používá např. tehdy, když se obsah čítače rychle mění a údaj na zobrazovací jednotce by nebyl přehledný, nebo v případě, že chceme znát obsah čítače v časovém úseku příliš krátkém pro běžné pozorování zobrazovacími jednotkami.

Připojíme-li vstupy ZÁPIS na úroveň log. 1, jsou výstupy z čítače připojeny přímo k dekodérům D147 a obsah čítačů je průběžně indikován zobrazovacími jednotkami LQ410.

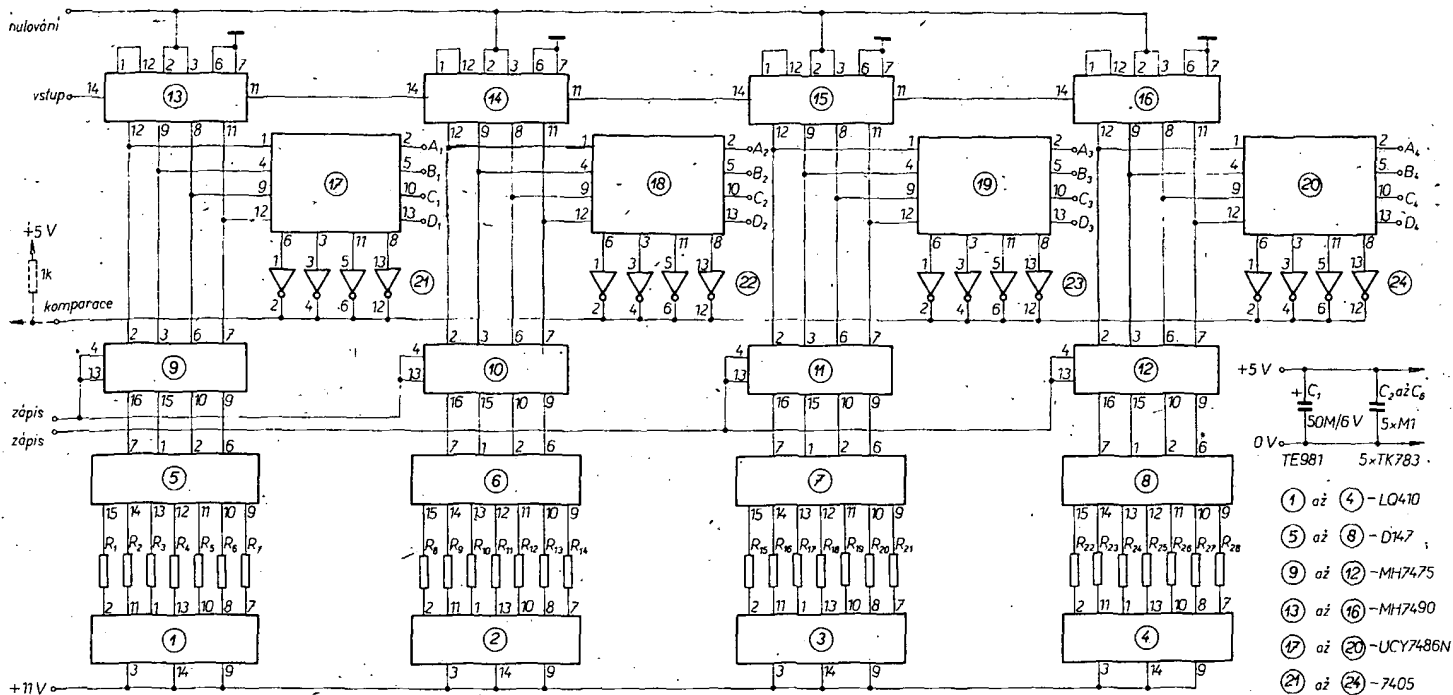


Obr. 84. Zkracování početního cyklu IO MH7493 bez přidavných obvodů

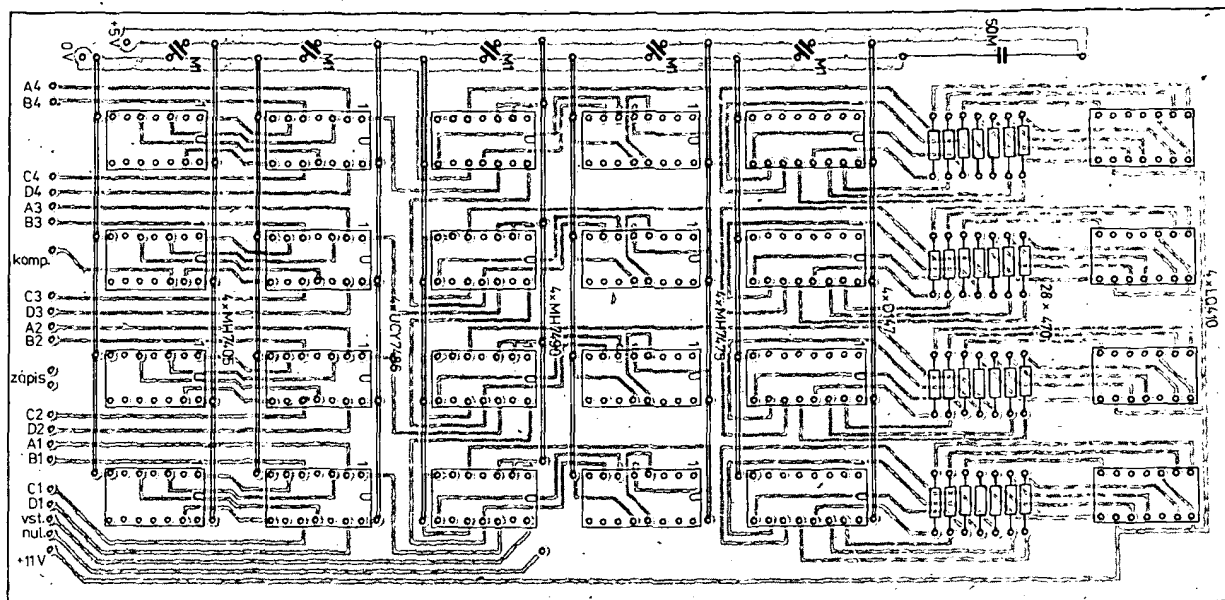
Tento čítač má univerzální použití. Lze jej použít nejen samostatně, ale i jako část jiných měřicích přístrojů, např. číslíkového otáčkoměru, popsaného v tomto RK. Na obr. 87 je deska s plošnými spoji a na obr. 88 je skutečné provedení.



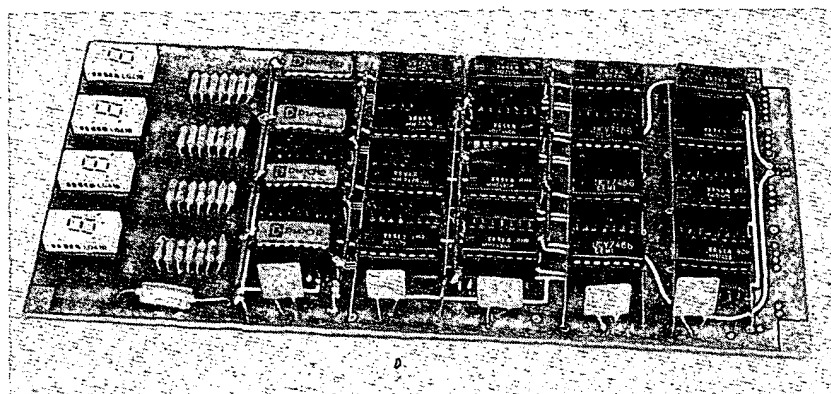
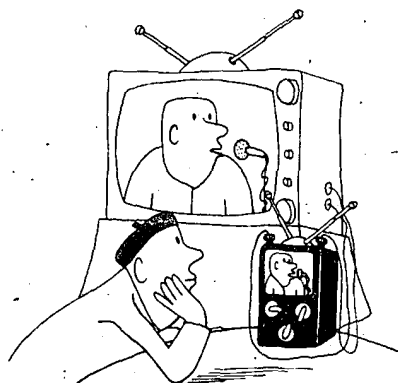
Obr. 85. IO MH7493 jako dělič kmitočtu s přidavnými logickými členy



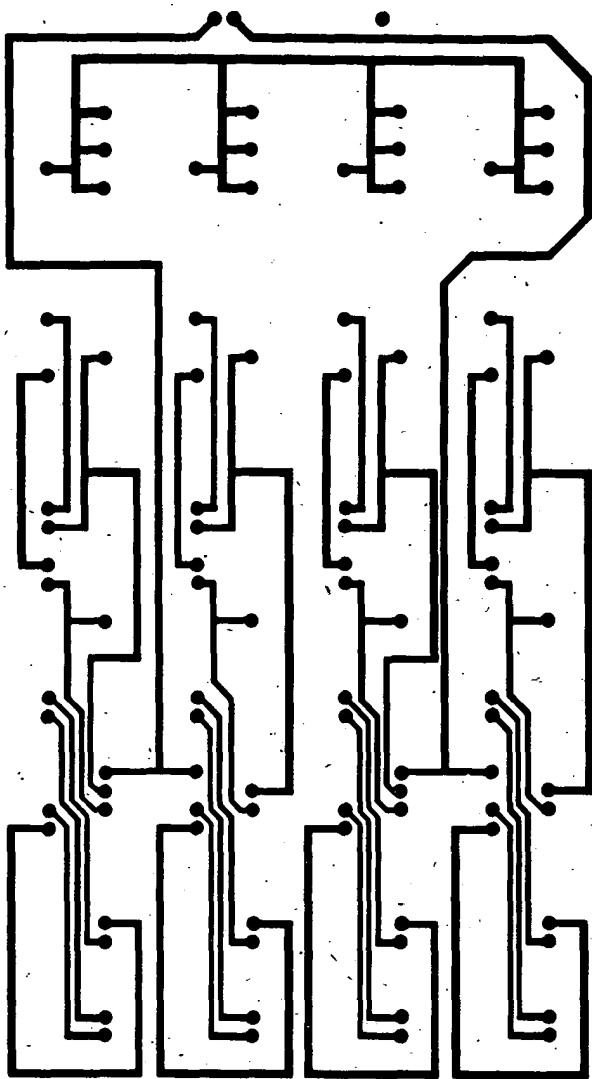
Obr. 86. Univerzální čtyřdekádový čítač



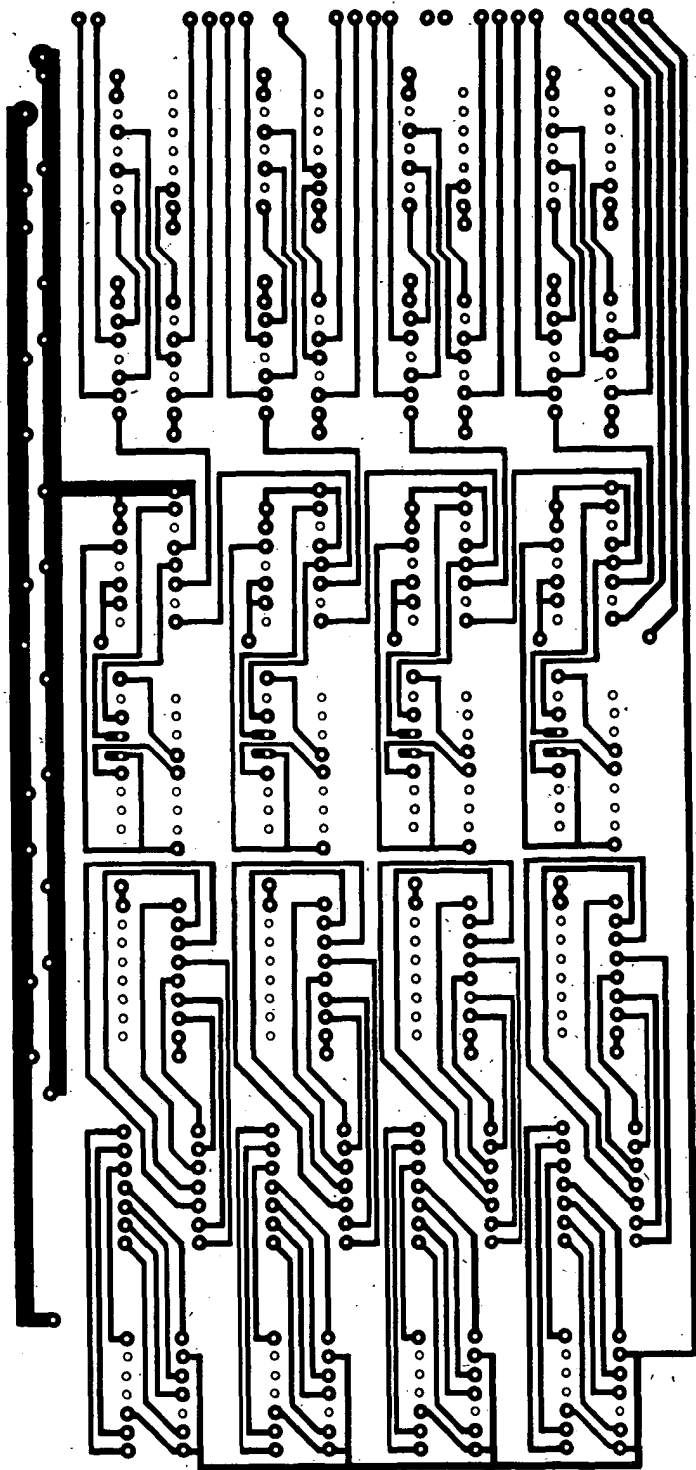
Obr. 87. Deska s plošnými spoji P218 univerzálního čtyřdekádového čítače



Obr. 88. Skutečné provedení univerzálního čítače



P218

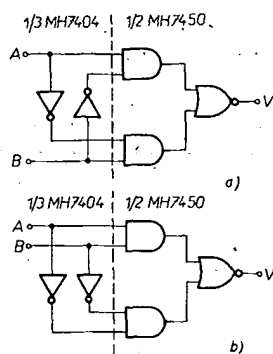


Komparátory

Obvody, které rozpoznávají shodnost úrovní přiváděných informací, jsou tzv. komparátory. Rozeznáváme komparátory číselové, které jsou určeny k porovnávání logických úrovní číselových informací, a analogové, které porovnávají dva analogové údaje vyjádřené obvyklé napětím.

Číselkové komparátory se skládají z logických obvodů, kdežto komparátory analogové většinou používají vlastností operačních zesilovačů.

Základem číselového porovnávacího obvodu je obvod se dvěma vstupy A a B a výstupem V. Na vstup A přivádíme první z porov-

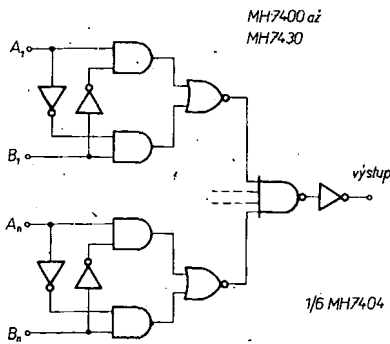


A	B	V
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Obr. 89.

A	B	V
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

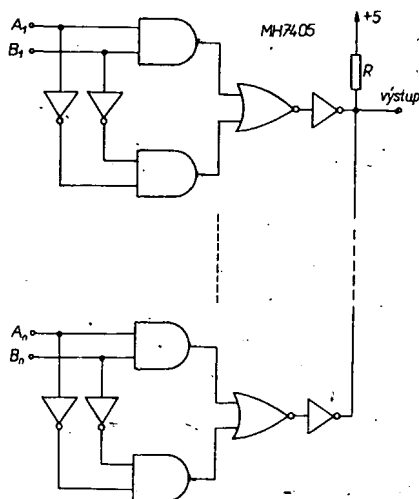
návaných bitů a na vstup B druhý (párový) bit. Obvod na obr. 89a je dvoubitový komparátorem, který se skládá z hradla AND-OR-INVERT a dvou negátorů. Shodnost vstupních bitů vytváří výstupní úroveň log. 1. Na obr. 89b je komparátor stejné složitosti, využívající stejných stavebních prvků, avšak výstupní úroveň je proti zapojení na obr. 89a negována. Logické členy zde vytvářejí funkci EXCLUSIVE-OR. Pro komparátory lze použít integrované obvody MH7450 s invertory MH7404.



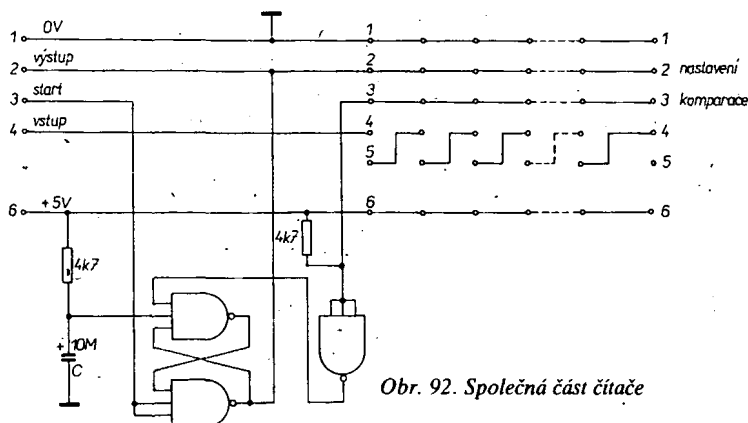
Obr. 90. Řazení komparátorů AND-OR-INVERT

Pro porovnání většího počtu párových bitů musíme rozšířit zapojení o další obvody, jimiž rozpoznáme shodnost bitů ve všech párových komparátorech. Zde se používají buď několikavstupové logické členy NAND s negátorem pro komparátory AND-OR-INVERT (pro výstupy s log. 1 při shodnosti vstupů), jak je naznačeno na obr. 90, nebo negátory s otevřeným kolektorem pro komparátory EXCLUSIVE-OR podle obr. 91. Druhé řešení je méně náročné na počet integrovaných obvodů.

Komparátor, který využívá logických členů EXCLUSIVE-OR v integrovaných obvodech UCY7486N, je součástí univerzálního čtyřdekádového čítače na obr. 86. Tyto IO jsou připojeny paralelně k výstupům z čítače MH7490. Na párové vstupy A₁ až D₄ lze připojit např. výstupy z dekadických přepí-



Obr. 91. Řazení komparátorů EXCLUSIVE-OR



Obr. 92. Společná část čítače

načů předvolby (v kódu BCD) nebo výstupy z logických členů s informací o předvoleném čísle. Při totožnosti logických úrovní na všech párových vstupech jsou všechny výstupní tranzistory negátorů MH7405 v nevodivém stavu a na výstupu KOMPARE je úroveň log. 1.

K výstupu je ještě nutno připojit odpor o velikosti 1 kΩ, jehož druhý konec připojíme na +5 V. Výstupní tranzistory negátorů s tzv. „otevřeným kolektorem“ vytvářejí spolu s odporem součinný logický člen.

Provedení desky s plošnými spoji tohoto univerzálního čtyřdekádového čítače se zobrazí a komparaci je na obr. 87. Spojení na desce jsou navrženy tak, že desku lze libovolně upravovat pro větší nebo menší počet dekad. Maximální kmitočet, který je schopen čítač zpravovat, je určen výrobcem integrovaných obvodů MH7490 na 32 MHz.

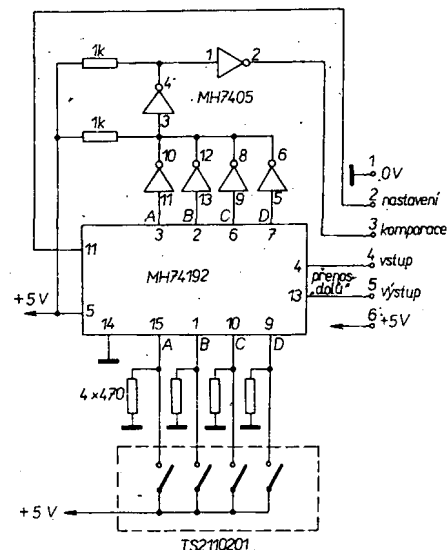
Obvod má vstup NULOVÁNÍ, kterým lze všechny čítače vynulovat impulsem úrovně log. 1. Propojíme-li výstup KOMPARE se vstupem NULOVÁNÍ, získáme dělič kmitočtu s dělicím poměrem určeným předvoleným číslem v kódu BCD na párových vstupech komparátoru např. číslicovými přepínači. Výstupní dělič impulsy jsou na výstupu KOMPARE.

Čítač je nutno napájet stabilizovaným napětím 5 V/0,6 A a nestabilizovaným napětím 11 V/0,5 A.

Jiný typ stavebnicového čítače s komparací je na obr. 92 a 93. Toto zapojení je vhodné např. pro časovače a podobné obvody, u nichž sice nepotřebujeme znát okamžitý obsah čítače, ale potřebujeme generovat impuls po určitém, předem nastaveném počtu vstupních impulsů. Jedná se tedy o univerzální dělič kmitočtu s předvolbou a blokováním.

Na číslicovém přepínači zvolíme požadovaný obsah čítače a před prvním čítaním impulsem tuto hodnotu zapíšeme obvody zápisu do vratného čítače sestaveného z integrovaných obvodů typu MH74192. Po signálu START přeploží klopový obvod R-S, který zablokuje zápis a čítač odečítá od předvolené hodnoty vstupující impulsy. Jakmile je obsah čítače roven nule, vyšle komparátor komparační impuls a klopový obvod R-S se přeploží zpět. Současně se opět přepíše obsah čítače na předvolenou hodnotu a obvod je připraven k další činnosti.

Obvody podle obr. 93 obsahující jeden čítač MH74192 pro kód BCD a obvod komparace s šesti negátory MH7405 jsou s potřebnými pasivními součástkami na jedné desce s plošnými spoji. Deska je mechanicky připevněna k číslicovému přepínači typu TS 211 02 01, který má výstupy v kódu BCD.



Obr. 93. Stavebnicový díl čítače s komparací

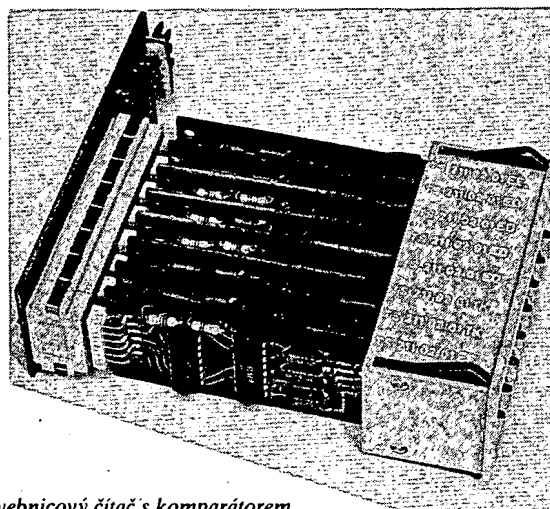
Komparátor se skládá ze čtyř negátorů s otevřeným kolektorem a z odporu, na němž vzniká negovaný logický součet výstupů z čítače. Zbývající dva negátory integrovaného obvodu jsou využity k zvětšení logického zisku obvodu.

Protože číslicové přepínače připojují mechanickými kontakty jednotlivé bity k napětí +5 V, je nutno doplnit všechny čtyři výstupy z přepínače odpory 470 Ω, připojenými na 0 V zdroje. Nepřipojené bity jsou potom na úrovni log. 0.

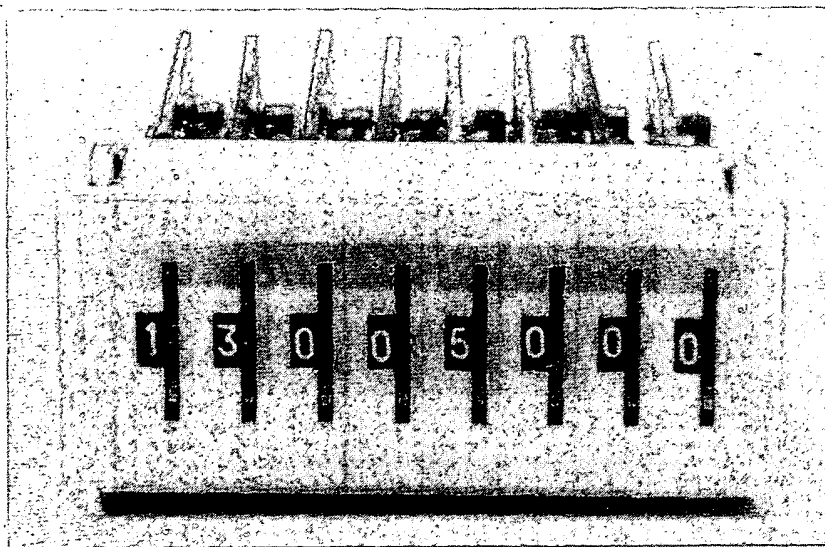
Každá deska s plošnými spoji je opatřena šestikolíkovým konektorem, který se sběrníkovým způsobem připojuje k obvodu na obr. 92. Tímto způsobem lze libovolně zvětšovat počet dekad čítače.

Komparátory ve všech dekadách by bylo možno vynechat a jako komparační signál využít negovaného přenosového impulsu „dolů“ z čítače nejvyšší dekad. Protože je však tento přenosový impuls generován až následujícím vstupním impulsem po obsahu čítače 0000, byl by přepočít načetých impulsů o jeden větší, než je předvolená hodnota. Za cenu úspory negátorů by bylo možno s touto vlastností počítat a zadávat číslo o jednotku menší. Druhou možností by bylo využít signálu START nejen k blokování zápisových vstupů překlopením klopného obvodu R-S, ale i ke generování opravného impulsu.

Kondenzátor C slouží k samočinnému nastavení klopného obvodu R-S do základního stavu po připojení zdroje. Mechanické uspořádání stavebních dílů je zřejmé z obr. 94 a 95.



Obr. 94. Stavebnicový čítač s komparátorem



Obr. 95. Stavebnicový čítač s komparátorem – jiný pohled

Násobení kmitočtu

V předchozích odstavcích bylo popsáno několik způsobů dělení kmitočtu, avšak v obvodářské praxi jsme někdy nuceni kmitočty naopak násobit. Vyřešení tohoto úkolu nebývá vždy snadnou záležitostí, obzvláště tehdy, požadujeme-li správnou funkci obvodu ve velkém rozsahu kmitočtů a rovnoměrné generování násobků základního kmitočtu impulsů z hlediska jejich střidy.

Nejjednodušší lze získat signál dvojnásobného kmitočtu ze vstupního signálu obdélníkového průběhu. Obvod pro tento účel je na obr. 96. Vstupní signál přivádíme k řetězci negátorů, kterých je sudý počet. V tomto řetězci se časově zpozdí náběžné a sestupné hrany vstupních impulsů. Vstupní signál a zpozděný signál přivedeme na vstupy porovnávacího obvodu, který vytváří funkci EXCLUSIVE-OR, tedy k jednobitovému číslicovému komparátoru, jehož činnost byla popsána v předchozích odstavcích. Obvod generuje v případě nesouhlasu vstupních bitů impuls. Vstupní kmitočty je proti vstupnímu

dvojnásobný. Obvod vyhovuje pro velký rozsah kmitočtů a přestává pracovat až v oblasti kmitočtů blízkých se mezním kmitočtům použitých obvodů.

Nevýhodou je v některých aplikacích malá šířka těchto impulsů. V takovém případě lze výstupní impulsy připojit k monostabilnímu multivibrátoru typu UCY74121N a vnějšími členy R a C impulsy prodloužit na potřebnou šířku. Toto řešení vyhoví ovšem pro podstatně menší rozsah kmitočtů vstupního signálu.

Chceme-li vstupní kmitočty násobit více než dvakrát, lze použít několik obvodů zařazených za sebou. Při násobení kmitočtu lichým číslem kombinujeme použití násobičů a děličů kmitočtu.

Funkčně odlišné řešení násobiče kmitočtu logického signálu je blokově znázorněno na obr. 97 a. Obvod využívá pomocného generátoru; jehož kmitočet je vyšší, než je výsledný požadovaný kmitočet. Sestupnou hranou vstupního logického signálu se odblokuje impulsy z pomocného generátoru. Tyto impulsy jsou přivedeny k děliči kmitočtu a k výstupu z obvodu. Dělič kmitočtu má dělicí poměr roven požadovanému násobku kmi-

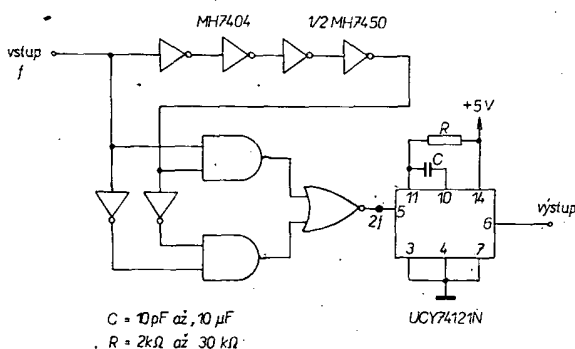
točtu výsledného signálu. Jakmile se rovná počet odblokovaných impulsů z pomocného generátoru dělicímu poměru děliče kmitočtu, zablokuje výstupní impuls pomocný generátor až do následující sestupné hrany vstupního signálu.

Počet výstupních impulsů z tohoto obvodu je celistvým násobkem vstupních impulsů, neboť každou sestupnou hranou vstupního signálu je obvodem generována série impulsů, číselně shodná s dělicím poměrem děliče kmitočtu. Průběhy v zapojení jsou na obr. 97b. Výstupní impulsy z tohoto obvodu mají kromě speciálních případů nerovnoměrnou střidu.

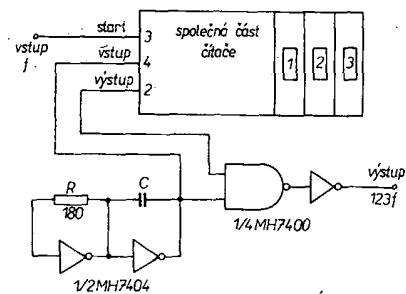
Skutečné zapojení obvodu je na obr. 98. Klopný obvod R-S blokuje kmitočet z pomocného generátoru. Generátor je sestaven ze dvou negátorů, odporu R a kondenzátoru C. Kapacitou kondenzátoru lze nastavit potřebný kmitočet tak, aby byl vyšší, než je největší požadovaný kmitočet na výstupu z obvodu. Pro rozsah kmitočtu 1 Hz až 1 MHz bude kapacita kondenzátoru 100 μ F až 100 pF.

Místo děliče kmitočtu lze použít některý z obvodů na obr. 81 až 85 podle požadovaného dělicího poměru. Dělič kmitočtu je připojen ke klopnému obvodu R-S přes kondenzátor, neboť požadujeme, aby klopný obvod překlátil při sestupné hraně výstupního impulsu.

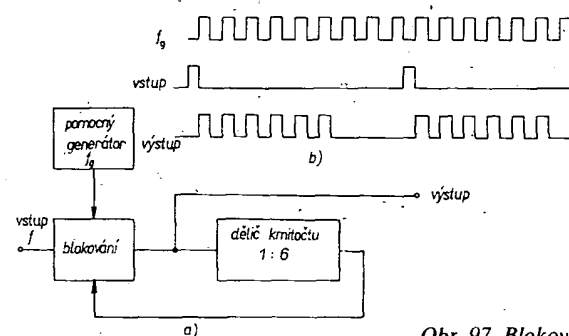
Pro násobení kmitočtu logického signálu stejným způsobem lze použít i univerzální stavebnicový čítač s komparací, který byl popsán v předchozí části tohoto AR a jehož schéma je na obr. 92 a 93. Získáme tak univerzální násobič kmitočtu, jehož násobitel lze snadno nastavit číslicovými přepínači. Uspořádání je na obr. 99. Klopný obvod R-S na společné části univerzálního čítače překlápá sestupná hrana vstupního logického signálu, který připojíme na vstup START. Na svorce s označením VÝSTUP se vytvoří úroveň log. 1, která trvá tak dlouho, pokud počet impulsů z pomocného generátoru připojeného ke svorce VSTUP není roven předvolené hodnotě čítače. Na výstupu sou-



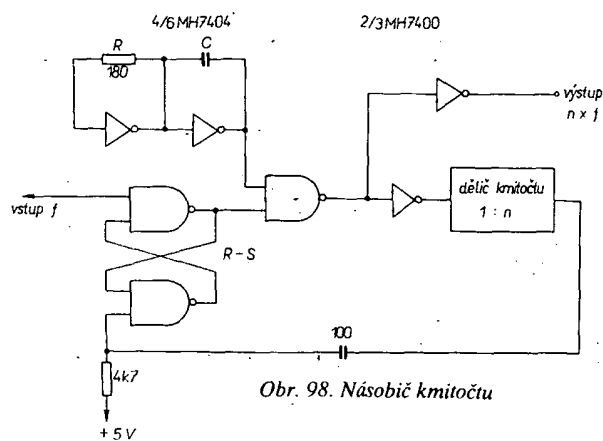
Obr. 96. Zdvojovač kmitočtu do 12 MHz



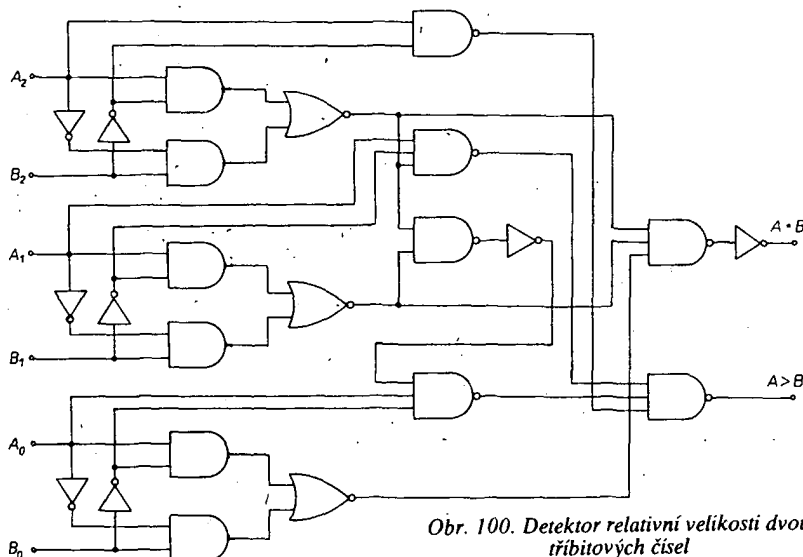
Obr. 99. Univerzální násobič kmitočtu



Obr. 97. Blokové schéma násobiče kmitočtu



Obr. 98. Násobič kmitočtu



Obr. 100. Detektor relativní velikosti dvou tříbitových čísel

činného členu připojeného k pomocnému generátoru a klopnému obvodu R-S získáme požadovaný násobek kmitočtu vstupních impulsů. Samozřejmě i pro tento obvod platí stejné požadavky na kmitočty pomocného generátoru, jako v předchozím zapojení.

Nevýhodou popsaných obvodů pro násobení kmitočtu je nerovnoměrné rozložení výstupních impulsů. Tuto nevýhodu lze odstranit např. tak, že kmitočty pomocného generátoru plynule upravujeme podle vstupního kmitočtu. Taková zapojení jsou poměrně složitá a lze je sestavovat z číslicových, analogových i kombinovaných obvodů. Jejich konkrétní podoba závisí na specifických požadavcích a obecný návod by přesáhl pokud jde o počet stránek únosnou míru. Postup naznačuje např. článek ing. Karla Kuchty: Zdvíhovací kmitočtu v AR A10/1980, str. 377.

Méně přesný způsob násobení kmitočtu je založen na použití dvou převodníků. První z nich převádí vstupní kmitočty na napětí a toto napětí je převedeno opět na kmitočty potřebné velikosti. Tento způsob převodu je značně náročný na vlastnosti obou převodníků, pokud požadujeme linearitu a stabilitu v určitém rozsahu kmitočtů.

Detektor relativní velikosti čísel

Často se nespokojíme při porovnání dvou binárně vyjádřených čísel pouze s konstatacím o jejich nerovnosti, ale potřebujeme znát, které z těchto dvou čísel je větší a které menší. Toto rozlišení potřebujeme například při sledování odchylky od předvolené hodnoty v regulačních systémech.

V zahraničí se vyrábějí speciální integrované obvody určené pro rozlišení velikosti dvou čísel. Jsou to např. obvody typu SN7485, které porovnávají dvě čtyřbitová čísla. Tyto obvody mají výstupy, indikující, které z obou čísel je větší, nebo zda jsou stejně velká. Obvody lze vzájemně dalšími výstupy vázat a vytvořit tak porovnávací paralelní obvod o libovolném počtu bitů.

Při porovnávání dvou binárních čísel se vychází ze zásady, že větší číslo je to, které má větší hodnotu v největších z neshodných bitů. Méně významné bity přitom nemá význam porovnávat. Např. číslo A = 11011 je větší než číslo B = 10111, protože v pořadí druhý bit s největším významem (2^3) čísla A je větší.

Detektor relativní velikosti čísel lze tedy sestavit z potřebného množství komparátorů vzájemně logicky vázaných tak, aby byl dalšími logickými obvody vyhodnocován nejvyšší neshodný bit. Obvod je na obr. 100. Je určen pro porovnání tří párových bitů A, B a C. Podobným způsobem by bylo možno obvod rozšiřovat pro větší počet párových bitů. V současnosti je však výhodnější použít pro větší počet bitů sériově pracující aritmetické obvody, speciální porovnávací obvody nebo obvody s mikroprocesory.

Převodníky

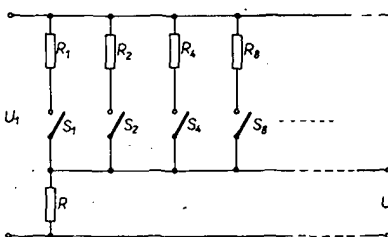
Převodníkem rozumíme obvod k převádění informací z jednoho způsobu vyjádření do jiného. Mezi nejběžnější používané převodníky v elektronických obvodech patří:

1. převodníky mezi číslicovým a analogovým způsobem vyjádření informace (\dot{C}/A a A/\dot{C});
2. převodníky měnící jeden číslicový způsob vyjádření informace na jiný (např. b/BCD);
3. převodníky mezi kmitočtem a analogovým či číslicovým vyjádřením informace.

Číslicové analogové převodníky – \dot{C}/A

Vstupní informací tohoto převodníku je obvykle číslo, vyjádřené v binárním, binárně dekadickém nebo dekadickém kódu. Výstupní informací je analogová veličina, obvykle napětí. Určenému rozsahu vstupních číslicových kombinací odpovídá určitý rozsah výstupního napětí. Na zahraničním trhu existují v současnosti převodníky \dot{C}/A zhotovené hybridní technologií ve tvaru jediné součástky. Na našem trhu se tyto součástky zatím nevyskytují. V amatérské praxi lze převodníky realizovat z diskretních součástek. Obvodově dělíme převodníky na dvě skupiny:

- a) převodníky paralelní a
- b) převodníky sériové.



Obr. 101. Paralelní převodník \dot{C}/A

a) Paralelní (váhový) převodník je v nejjednodušší podobě znázorněn na obr. 101. Každý vstupní bit převodníku ovládá spínač, který připojuje do společného výstupního obvodu analogovou složku (proud) úměrnou velikosti váze odpovídajícího vstupního bitu. Převodníky tohoto druhu jsou rychlé, avšak s počtem zpracovávaných bitů rostou značné nároky na počet a výběr prvků obvodu.

Bude-li nejnižší bit binárního kódu (2^0) spínat spínač S_1 a nejvyšší (2^3) spínač S_8 , a bude-li platit $R_1 : R_2 = R_2 : R_4 = R_4 : R_8 = 2 : 1$, potom U_2 bude úměrně hodnotě vstupního binárního čísla.

Při skutečném návrhu tohoto převodníku pro větší počet bitů musíme dodržet následující zásady: odpory musí být dlouhodobě a teplotně stálé. Čím delší je řetězec odporů, tím větší je rozdíl mezi hodnotami R_1 a R_n . Přitom nestabilita odporu R_1 musí být menší než je zlomek hodnoty odporu R_n . Jinak pozbývá přírůstek proudu, který odporem R_n protéká, v obvodu převodníku smysl. Pro 10 bitů je tato hodnota menší než 2^{-10} , tj. menší než promile. Tuto podmínku lze splnit pouze tak, že přesné a stabilní odpory umístíme do termostatu. Polovodičové spínače musí být rovněž teplotně velmi stabilní a úbytky napětí, které na nich vznikají, musí být minimální. Častěji se používá zapojení, které využívá vlastností operačního zesilovače a sítě odporů se skládá z odporů takových hodnot, které se vzájemně příliš neliší. V takovém případě lze dosáhnout podstatně lepší stability celého převodníku. Spínače přepínají jednotlivé větve z úrovně referenčního napětí (-10 V) na 0 V. Proud se v každém uzlovém bodě dělí v poměru $1:2$, což odpovídá binárnímu rozdělení spínačů.

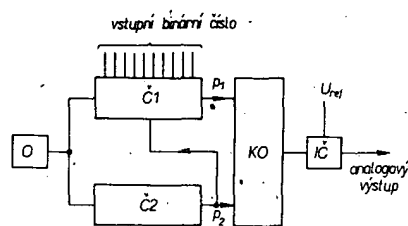
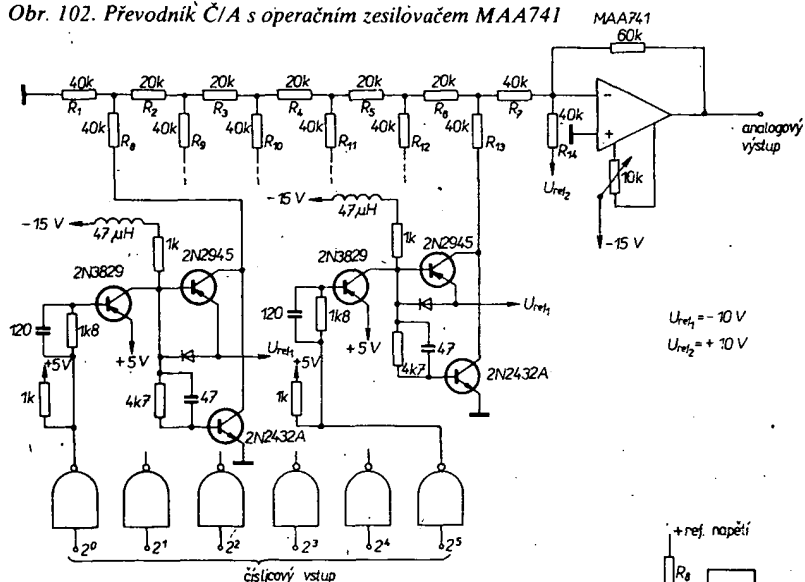
Na obr. 102 je zapojení s operačním zesilovačem MAA741. Odporová síť se skládá z odporů R_1 až R_{14} . Transistory mají za úkol přizpůsobit úroveň logických obvodů TTL obvodu převodníku a spínat uzlové body odporové sítě na referenční nebo nulové napětí. Zbytkové napětí kolektor-emitor je díky inverznímu provozu pouze několik milivoltů a vliv teplotního kolísání zbytkového napětí je tak potlačen na minimum. Rychlost převodníku je omezena vlastnostmi operačního zesilovače a potřebná doba převodu je asi $100 \mu s$. Při dodržení přesnosti použitých odporů, tj. $0,2\%$, je maximální chyba výstupní analogové hodnoty šestibitového převodníku asi 2% .

Při sériové výrobě převodníků hybridní technologií se používají velmi náročná, automaticky pracující zařízení, která jednotlivé odpory sítě proměřují a např. laserovým paprskem upravují jejich hodnoty.

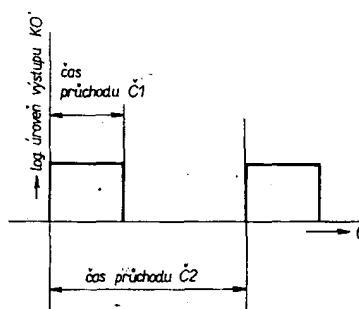
b) Sériový převodník \dot{C}/A lze realizovat např. podle blokového schématu na obr. 103. Oscilátor O kmitá pokud možno vysokým kmitočtem, který je omezen vlastnostmi čítačů (C_1 a C_2), klopného obvodu (KO) a spínačů v integračním členu (IC). Čítač C_1 je obvodem nastavení nastaven na vstupní hodnotu binárního čísla. Čítač C_2 má rozsah maximální hodnoty čítače C_1 , a tedy největšího výstupního binárního čísla. Po určité době se C_1 naplní a na jeho výstupu se objeví přenosový impuls p_1 . Ten přepne klopný obvod KO. Jakmile se naplní i druhý čítač, přenosový impuls p_2 přepne klopný obvod do původního stavu. Současně se první čítač nastaví na hodnotu vstupního binárního čísla. Děj se neustále opakuje. Na výstupu z klopného obvodu získáme průběh znázorněný na obr. 104. Kmitočty tohoto signálu je určen kmitočtem oscilátoru, děleným obsahem druhého čítače. Střída signálu se mění v závislosti na vstupním binárním čísle.

Integrační člen, připojený ke klopnému obvodu, vytváří analogový výstup, který je vstupnímu číslu úměrný. Takový převodník

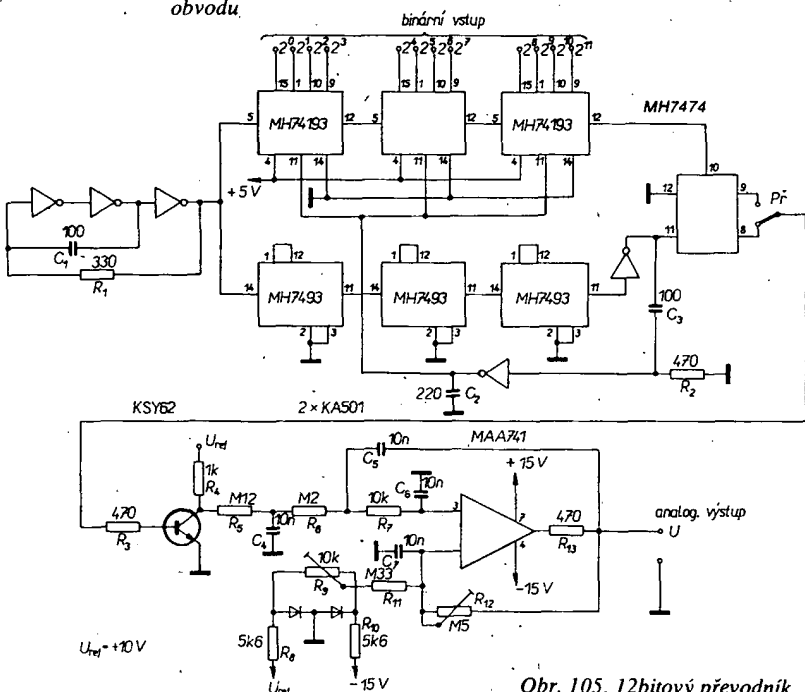
Obr. 102. Převodník Č/A s operačním zesilovačem MAA741



Obr. 103. Blokové schéma převodníku Č/A



Obr. 104. Průběh na výstupu z klopného obvodu



Obr. 105. 12bitový převodník

je poměrně jednoduchý a přesný, avšak proti paralelnímu převodníku pomalý.

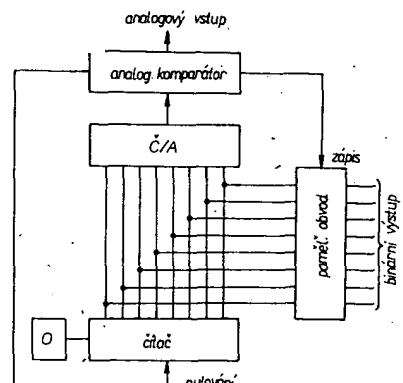
Skutečné schéma dvanáctibitového převodníku je na obr. 105. Kmitočty oscilátoru nemusí být přesné ani stabilní, postačí jednoduchý obvod složený ze tří logických invertorů. Nahradíme-li integrované obvody v prvním čítači obvody MH74192 a druhý čítač osadíme obvody MH7490, převodník upravíme pro vstupní informaci v kódu BCD. Přepínačem P_f můžeme invertovat analogové výstupní napětí, takže vstupnímu nejvyššímu binárnímu číslu odpovídá minimální napětí. Potenciometrem R₉ nastavíme nulovou hodnotu a potenciometrem R₁₂ maximální požadovanou hodnotu výstupního analogového napětí. Přitom musí vstupní binární číslo odpovídat nejprve nulové a potom maximální hodnotě.

Analogové číslicové převodníky A/Č

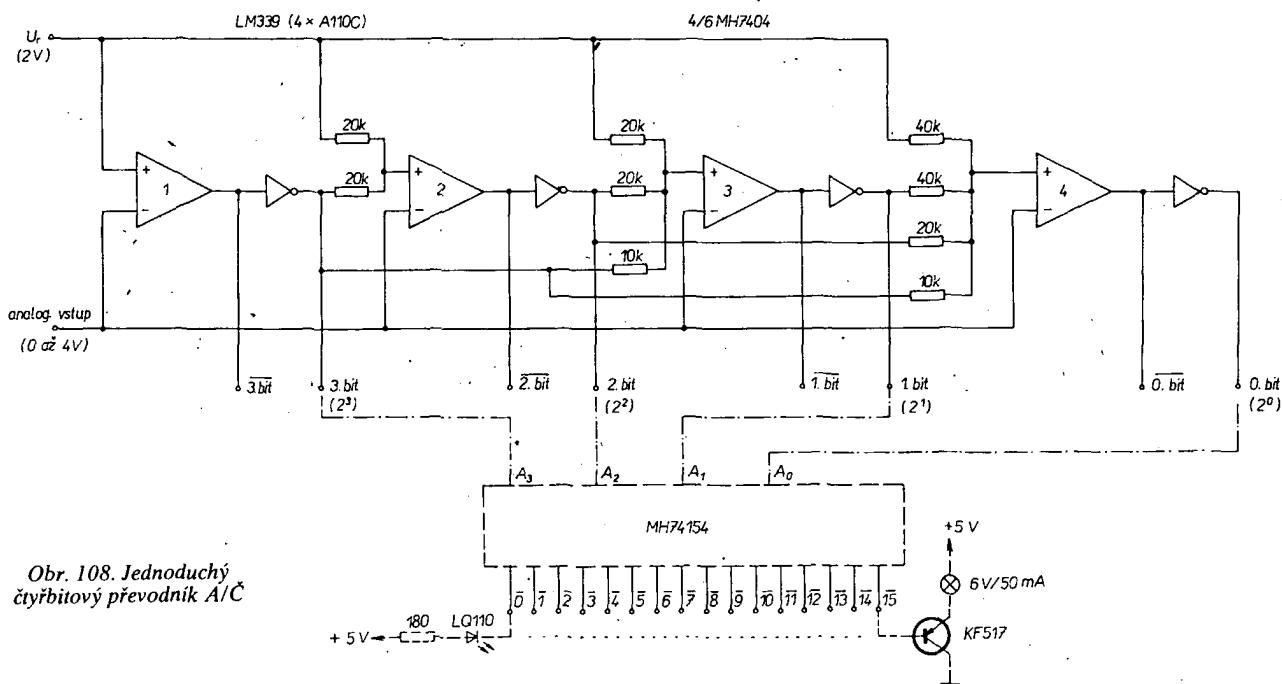
Tyto převodníky mohou opět pracovat paralelním, nebo sériovým způsobem. U rychlejšího paralelního způsobu se obzvlášť projevuje jeho všeobecná nevýhoda, tj. značný počet aktivních i pasivních prvků a náročnost jejich výběru. Na obr. 106 je základní zapojení paralelního převodníku. Vstupní analogový signál je paralelně připojen k většímu množství rychlých analogových komparátorů. Každý z těchto komparátorů je nastaven na jiné referenční napětí. Počet komparátorů odpovídá počtu kombinací číslicového výstupu z převodníku. Pro vyhodnocení analogové veličiny s přesností 1 % by bylo nutno použít více než 100 analogových komparátorů. Proto se tohoto způsobu využívá výjimečně pro převod celého rozsahu analogové veličiny. Často se však tyto převodníky používají při vyhodnocení mezi analogového údaje, např. při třídění výrobků do několika skupin. Využívá se zde rychlosti převodu.

Analogovým komparátorem je obvykle rychlý operační zesilovač, jehož výstupní úroveň je slučitelná s obvody TTL logických obvodů. Číslicový údaj z komparátorů je totiž nutno ještě většinou upravit na číslo, vyjádřené binárně nebo v kódu BCD. Pro tento účel se užívá speciálních obvodů – rychlých diferenciálních komparátorů, např. A110C z NDR.

Provedení sériového převodníku A/Č je blokově naznačeno na obr. 107. Je použit sériově pracující převodník A/Č např. podle obr. 105. Binární vstup tohoto převodníku je připojen k čítači, který rychle mění svůj obsah od nulové do maximální hodnoty. Analogový výstup z převodníku je připojen k analogovému komparátoru, který porov-



Obr. 107. Blokové schéma sériového převodníku A/Č



Obr. 108. Jednoduchý čtyřbitový převodník A/C

nává tento výstup se vstupní analogovou hodnotou. Při jejich rovnosti přepíše stav čítače do paměťového členu a vynuluje čítač. Děj se trvale opakuje a obsah paměťového členu je binárním vyjádřením vstupní analogové veličiny.

Rychlost převodu je značně malá, neboť převod je dvojnásobný a sériový. Výhodnější je použít paralelní převodník Č/A.

Jednoduchý čtyřbitový analogově číslicový převodník

Pro méně náročné aplikace, při nichž vystačíme se šestnácti stupni rozdělení analogové veličiny, lze použít zapojení podle obr. 108. Vstupní napětí v rozsahu 0 až 4 V dělíme po stupních 0,25 V, na výstupní binární číslo 0000 až 1111. Převodník je vhodný pro amatérské použití např. při měření teploty, výšky hladiny kapalin, dvouvidicové ovládání modelů apod.

Připojíme-li k výstupům integrovaný převodník binárního kódu na kód 1 ze šestnácti typu MH74154, můžeme ovládat odpovídajících 16 aktivních členů, nebo spínat indikační žárovky či svítivé diody, odpovídající vstupnímu napětí.

Obvod se skládá ze čtyř analogových komparátorů s výstupy slučitelnými s logickými obvody TTL. Nejlépe se hodí čtveřice komparátorů v jediném pouzdře (typ LM339), nebo 4 kusy dostupnějších diferenčních komparátorů typu A110C (NDR). Dále jsou použity čtyři invertory z integrovaného obvodu MH7404.

Funkce obvodu: Vstupní analogové napětí je na vstupech komparátorů porovnáváno s napětími, která jsou odvozena z referenčního napětí a napětí logických úrovní. Každý z komparátorů ovlivňuje prostřednictvím odporové sítě napětí na neinvertních vstupech následujících komparátorů podle výsledku komparace. Tímto způsobem se vstupní analogové napětí postupně třídí v jednotlivých bitech, počínaje bitem nejvyššího řádu. Uvedme si příklad pro vstupní napětí 3,4 V. Toto napětí je v prvním komparátoru porovnáváno s referenčním napětím U_r . (Napětí U_r je střední hodnotou úrovně log. 0 a log. 1 použitých invertorů. V našem

případě budeme uvažovat úroveň log. 0 = 0 V, log. 1 = 4 V a $U_r = 2$ V.) Protože je vstupní napětí větší než U_r , je na výstupu z prvního komparátoru úroveň log. 0 a za invertorem log. 1 (4 V). Sítí odporů vytváří na neinvertním vstupu druhého komparátoru napětí 3 V. Protože je vstupní napětí větší, je i na výstupu druhého komparátoru úroveň log. 0. Výstupní napětí obou prvních invertorů vytváří na neinvertním vstupu třetího komparátoru napětí 3,5 V. Proto tento komparátor spolu s invertorem vytváří log. 0. Na neinvertním vstupu čtvrtého komparátoru se vytváří napětí 3,25 V. Čtvrtá část převodníku má na výstupu úroveň log. 1. Binární číslo, které převodník vytvoří, je tedy 1101, což odpovídá dekadické hodnotě 13. Skutečně, rozdělíme-li 4 V na 16 dílů, je třináctá část napětí v rozmezí 3,25 až 3,5 V. Vstupní napětí 3,4 V tomuto rozmezí odpovídá.

Převodník lze rozšiřovat pro větší počet výstupních bitů, avšak logické úrovně nejsou dostatečně přesné. Proto by bylo nutno odporovou síť upravit podle použitých invertorů. Výhodou zapojení je i možnost využít inverzní výstupy.

Převodníky měnící číslicový způsob vyjádření informace na jiný číslicový způsob

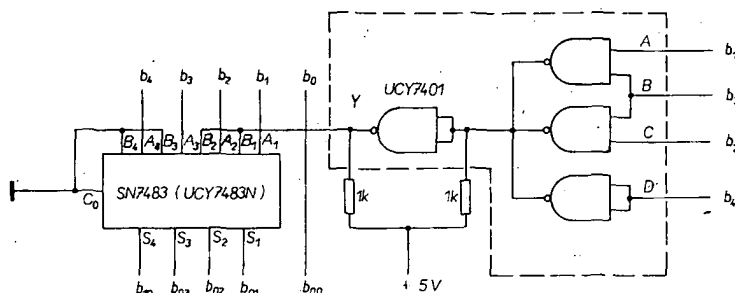
Sem patří převodníky z kódu 1 z 10 na binární kód a naopak, převodníky mezi binárním kódem a kódem BCD, převodníky mezi různými kódy pro speciální použití (Grayův kód/BCD), generátory paritních bitů, spínače sedmissegmentových a maticových zobrazovacích prvků atd. Pro tyto převody jsou vyráběny mnoha výrobci převodníků v tuhé fázi na jediném čipu. Jsou to např.:

- MH7442 – převodník z kódu BCD na kód 1 z 10,
- MH74154 – převodník kódu BCD na kód 1 z 16,
- UCY74180N – paritní generátor,
- D146, D147 – převodník BCD na sedmissegmentový zobrazovací prvek,
- MHB2501 – generátor alfanumerických znaků v latinské abecedě,
- MHB2502 – generátor alfanumerických znaků v ruské abecedě,
- SN74185 – výrobce programovaná paměť SN7488 pro převod z binárního kódu na kód BCD,
- SN74184 – převodník z kódu BCD na binární kód.

Převodníky kódu BCD na binární kód a naopak

Přeměna kódu BCD na binární kód a naopak není jednoduchá. S výše uvedenými obvody vystačíme pro převod pětibitového čísla. Pro převod většího množství bitů je nutno použít větší množství těchto obvodů a opět stojíme před rozhodnutím, zda použít rychlejšího převodníku paralelního, nebo pomalejšího sériového. Výhody a nevýhody jsou opět stejné. Počet prvků paralelního (statického) převodníku se s počtem převáděných bitů zvětšuje geometrickou řadou. Sériové převodníky (dynamické) mají počet prvků v nejnejpříznivějším případě lineárně úměrný počtu převáděných bitů. Mezi sériové pracující převodníky můžeme počítat i takové, které zpracovávají vstupní informaci po skupinách a lze sem zařadit i převod kódu počítačem, který zpracovává postupně celá slova paralelním způsobem.

Na obr. 109 je zapojení paralelního pětibitového převodníku z binárního kódu na kód BCD



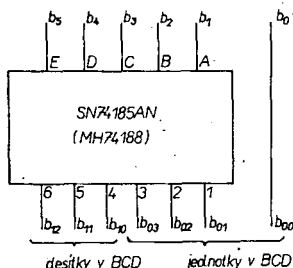
Obr. 109. Pětibitový převodník z binárního kódu na kód BCD

Tab. 1. Vstupní a výstupní stavy zapojení podle obr. 7

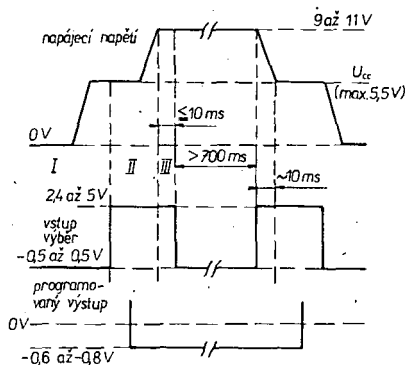
Dekadické číslo	Binární číslo					BCD				
	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀	b ₁₀	b ₀₃	b ₀₂	b ₀₁	b ₀₀
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1
6	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
7	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
10	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
11	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
12	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
13	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
14	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
15	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
16	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
17	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
18	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0
19	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1

BCD. Nejnižší bit, tj. bit vyjadřující řád 2ⁿ binárního čísla, se při převodu na kód BCD nemění a proto vystačíme se čtyřbitovým sčítacím obvodem. Pět výstupních bitů omezuje počet kombinací na rozsah 00 až 19 ve vyjádření BCD. Vstupní a výstupní stavy jsou v tab. 1.

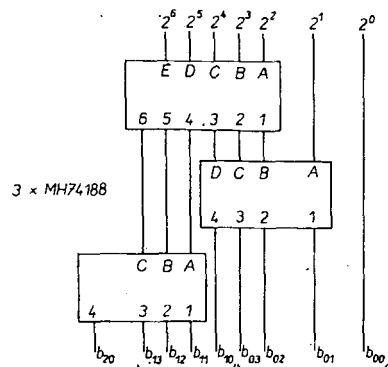
Integrovaný obvod SN7483 (UCY7483N) je čtyřbitový úplný sčítací obvod, který pro



Obr. 110. Šestibitový převodník b/BCD



Obr. 111. Průběhy programovacích impulsů



Obr. 112. Sedmibitový převodník b/BCD

Tab. 2. Vstupní a výstupní stavy 6bitového převodníku

Dekadické číslo	Binární číslo						BCD							
	b ₅	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀	b ₁₂	b ₁₁	b ₁₀	b ₀₃	b ₀₂	b ₀₁	b ₀₀	
0/1	0	0	0	0	0	0/1	0	0	0	0	0	0	0/1	
2/3	0	0	0	0	1	0/1	0	0	0	0	0	1	0/1	
4/5	0	0	0	1	0	0/1	0	0	0	0	1	0	0/1	
6/7	0	0	0	1	1	0/1	0	0	0	0	1	1	0/1	
8/9	0	0	1	0	0	0/1	0	0	0	1	0	0	0/1	
10/11	0	0	1	0	1	0/1	0	0	1	0	0	0	0/1	
12/13	0	0	1	1	0	0/1	0	0	1	0	0	1	0/1	
14/15	0	0	1	1	1	0/1	0	0	1	0	1	0	0/1	
16/17	0	1	0	0	0	0/1	0	0	1	0	1	1	0/1	
18/19	0	1	0	0	1	0/1	0	0	1	1	0	0	0/1	
20/21	0	1	0	1	0	0/1	0	1	0	0	0	0	0/1	
22/23	0	1	0	1	1	0/1	0	1	0	0	0	1	0/1	
24/25	0	1	1	0	0	0/1	0	1	0	0	1	0	0/1	
26/27	0	1	1	0	1	0/1	0	1	0	0	1	1	0/1	
28/29	0	1	1	1	0	0/1	0	1	0	1	0	0	0/1	
30/31	0	1	1	1	1	0/1	0	1	1	0	0	0	0/1	
32/33	1	0	0	0	0	0/1	0	1	1	0	1	0	0/1	
34/35	1	0	0	0	1	0/1	0	1	1	0	1	0	0/1	
36/37	1	0	0	1	0	0/1	0	1	1	0	1	1	0/1	
38/39	1	0	0	1	1	0/1	0	1	1	1	0	0	0/1	
40/41	1	0	1	0	0	0/1	1	0	0	0	0	0	0/1	
42/43	1	0	1	0	1	0/1	1	0	0	0	0	1	0/1	
44/45	1	0	1	1	0	0/1	1	0	0	0	1	0	0/1	
46/47	1	0	1	1	1	0/1	1	0	0	0	1	1	0/1	
48/49	1	1	0	0	0	0/1	1	0	0	1	0	0	0/1	
50/51	1	1	0	0	1	0/1	1	0	1	0	0	0	0/1	
52/53	1	1	0	1	0	0/1	1	0	1	0	0	1	0/1	
54/55	1	1	0	1	1	0/1	1	0	1	0	1	0	0/1	
56/57	1	1	1	0	0	0/1	1	0	1	0	1	1	0/1	
58/59	1	1	1	0	1	0/1	1	0	1	1	0	0	0/1	
60/61	1	1	1	1	0	0/1	1	1	0	0	0	0	0/1	
62/63	1	1	1	1	1	0/1	1	1	0	0	0	1	0/1	

prvních deset kombinací podle tab. 1 žádný z bitů nemění. Všechny přičítané bity mají totiž hodnotu log. 0. Teprve od dekadického čísla 10 se změní logická úroveň výstupu Y z integrovaného obvodu UCY7401 na log. 1 a sčítací obvod přičítá ke vstupním bitům dekadické číslo 6. Integrovaný obvod UCY7401 vytváří logickou funkci $Y = AB + BC + D$. Časové zpoždění převodníku je asi 60 ns.

Chceme-li převést na vyjádření v kódu BCD šestibitové binární číslo (což odpovídá dekadickým číslům 0 až 63), můžeme použít zapojení podle obr. 110. Je zde využito jediného integrovaného obvodu typu SN74185AN, který je vlastně výrobcem naprogramovaná paměť typu ROM – SN7488 podle tabulky 2. Pro tentýž účel lze použít dostupnější paměť PROM MH74188, kterou naprogramujeme podle téže tabulky.

Paměť ROM 256 bitů typu MH74188 se programuje takto:

1. Připojí se napájecí napětí a kombinaci logických úrovní na vstupech ADRESA se zvolí slovo, které má být naprogramováno (oblast I na obr. 111).
2. Vstup VYBĚR se připojí na napětí 2,4 až 5 V (oblast II).
3. Výstupní bit, který má být naprogramován, se připojí na napětí -0,6 až -0,8 V.
4. Napájecí napětí se zvětší na 9 až 11 V a nejpozději do 10 ms po dosažení této hodnoty (oblast III) se vstup VYBĚR připojí na napětí -0,5 až 0,5 V. Toto „vybavení paměti“ musí trvat déle než 700 ms. Nejpozději do 10 ms po navrácení vstupu VYBĚR na napětí podle bodu 2 musí se zmenšit napájecí napětí na původní velikost podle bodu 1 (max. 5,5 V). Zdroj napájecího

napětí musí být schopen dodat při napětí 0 až 11 V proud 100 mA.

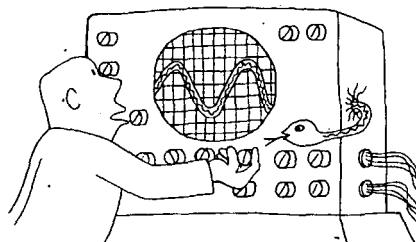
Jednotlivé bity se programují postupně a je vhodné se vždy ihned přesvědčit o správném naprogramování každého bitu. K tomuto účelu poslouží přípravek s přepínači, kterými lze snadno adresovat celé osmibitové slovo. Osmi tlačítky potom postupně programujeme jednotlivé buňky a žárovkami indikujeme stav těchto buněk.

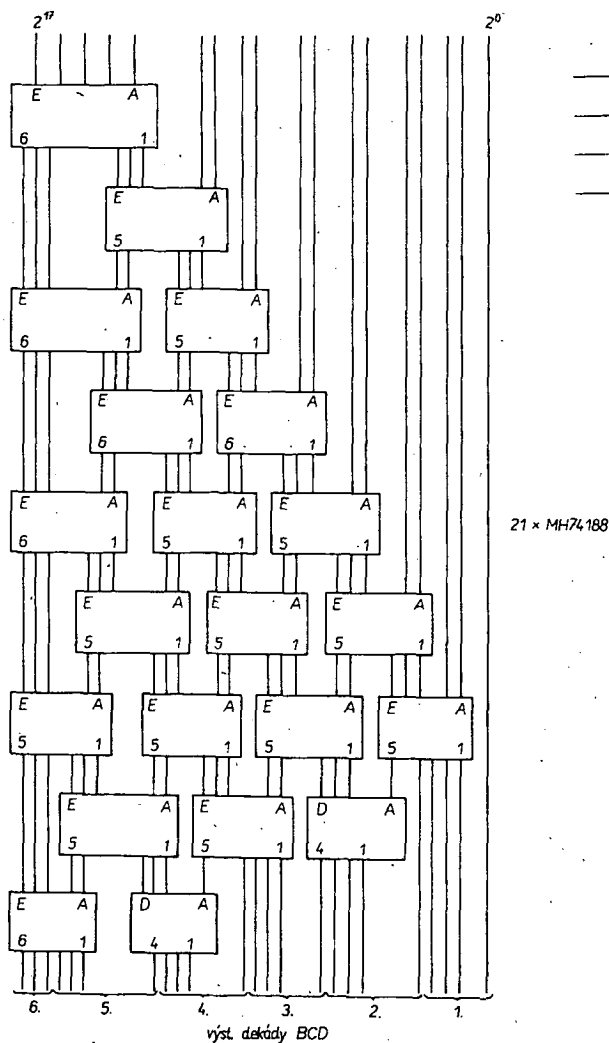
Integrovaný obvod MH74188 má výstupy s otevřeným kolektorem. Proto při skutečném provedení převodníku z binárního kódu na kód BCD podle obr. 110 je nutno na výstupy ještě připojit potřebné odpory. Maximální výstupní proud je 12 mA.

Chceme-li převádět z binárního kódu na kód BCD větší počet bitů, lze zapojení kaskádovitě rozšiřovat, avšak počet nutných obvodů se rychle zvyšuje. Na obr. 112 je zapojení pro převod sedmi vstupních bitů a na obr. 113 je zapojení pro 18 vstupních bitů. Vždy jsou použity obvody s vlastnostmi podle funkční tab. 2, tj. integrované obvody SN74185AN nebo naprogramované MH74188.

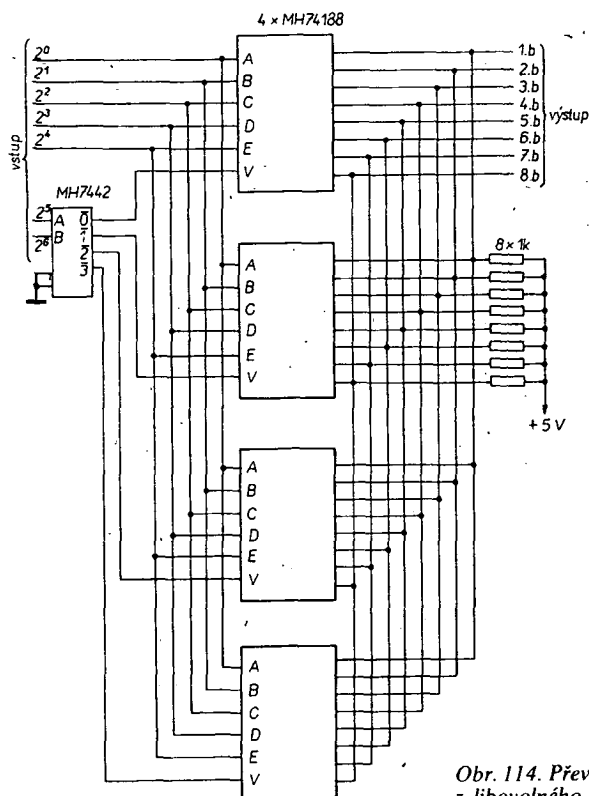
Časové zpoždění takových převodníků však závisí na počtu sériově řazených obvodů a pro 18bitový převodník je tedy devítinásobné proti zpoždění v jediném obvodu. Pro obvod MH74188 je zpoždění udané výrobcem max. 50 ns. Skutečné zapojení je nutno doplnit o odpory na všech výstupech s otevřenými kolektory a vstupy VYBĚR připojit k zápornému pólu napájecího zdroje.

Pokud je vstup VYBĚR obvodu MH74188 na úrovni log. 1, jsou všechny výstupy z tohoto obvodu na úrovni log. 1. Uspořádání s otevřenými kolektory umožňuje řadit tyto obvody paralelně a potřebnou výstupní kombinaci získávat pouze z jednoho obvodu. Tento obvod aktivujeme právě vstupem VYBĚR. Na obr. 114 je zapojení takového obvodu pro převod libovolného sedmibitového kódu na jiný osmibitový kód, popř. sedmibitový kód včetně paritního bitu. Tímto způsobem lze převádět mezi sebou

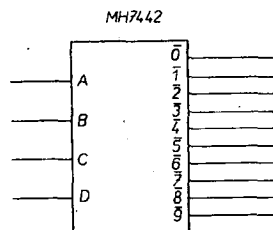




Obr. 113. 18 bitový převodník b/BCD

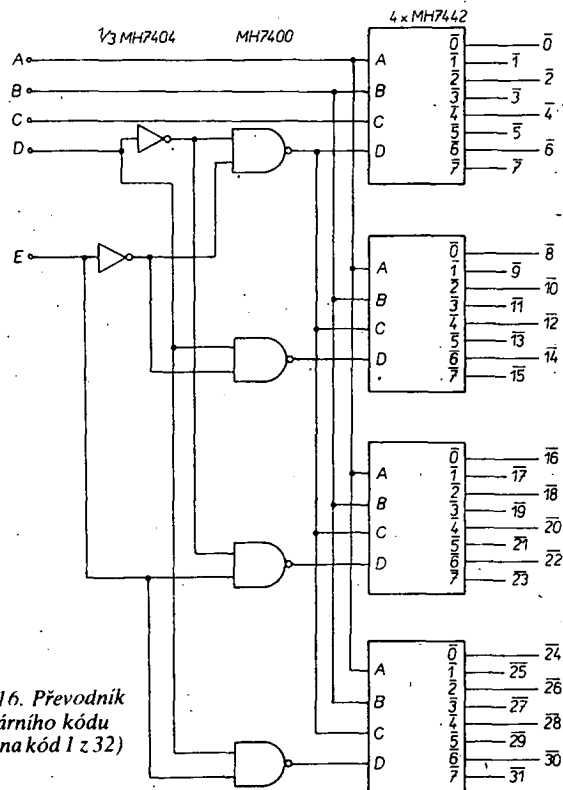


Obr. 114. Přebodník z libovolného 7bitového vstupního kódu na 8bitový výstup

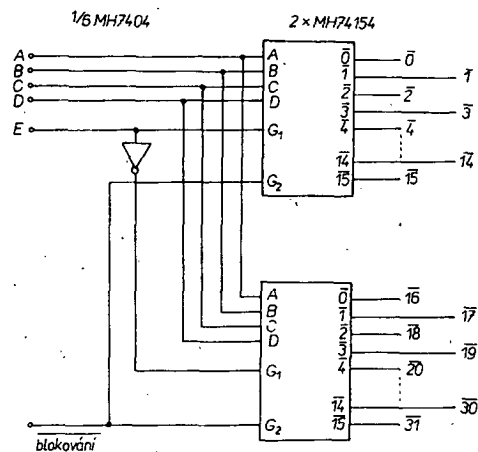


Obr. 115. IO MH7442

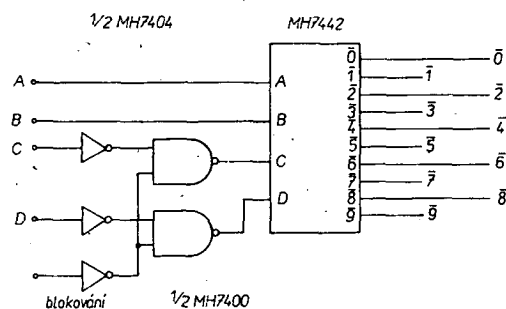
různé dálkopisné kódy. Dekodér MH7442 aktivuje potřebnou paměť a obvod lze libovolně rozšiřovat pro větší počet vstupních i výstupních bitů. Jednotlivé buňky paměti je nutno samozřejmě předem naprogramovat na potřebnou výstupní kombinaci. Tento



Obr. 116. Přebodník z binárního kódu (5 bitů na kód 1 z 32)



Obr. 117. Přebodník s použitím 2 ks MH74154



Obr. 118. Úprava k blokování IO MH7442

převodník je podstatně rychlejší než převodník z obr. 112 a 113 a lze jej použít i pro převod z binárního kódu na BCD a naopak.

Převodník z BCD nebo binárního kódu na kód 1 z N

V těchto převodnících se obvykle používají integrované převodníky typu MH7442 (kód BCD na 1 z 10) nebo MH74154 (binární čtyřbitový převodník na 1 z 16).

Obvod MH7442 je na obr. 115 a jeho funkci popisuje tab. 3. Obvod nemá možnost

Tab. 3. Funkční tabulka IO MH7442

VSTUPY				VÝSTUPY									
A	B	C	D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

blokování výstupů, avšak při vstupní hodnotě větší než 9 jsou všechny výstupy na úrovni log. 1. Této vlastnosti lze využít pro sériové řazení obvodů MH7442, čímž získáme vícebitový převodník. Na obr. 116 je zapojení binárního 5bitového převodníku na kód 1 z 32. Dva nejvyšší bity, tj. D a E, jsou dekodovány na 4 výstupy, které odblokují potřebný obvod MH7442. V zapojení je využito pouze osmi výstupů z těchto obvodů a vstup D je použit k zablokování.

Výhodnější je použít dva integrované obvody typu MH74154 (obr. 117). Vstupy G₁ a G₂ blokují výstupy, takže lze jimi aktivovat potřebný integrovaný obvod. Aktivaci obstarává bit E. Pokud je jeho logická úroveň rovna 0, vybírají bity A až C výstup z prvního obvodu, od hodnoty 16, kdy se změní logická úroveň bitu E na 1, vybírají tyto bity výstup z druhého obvodu.

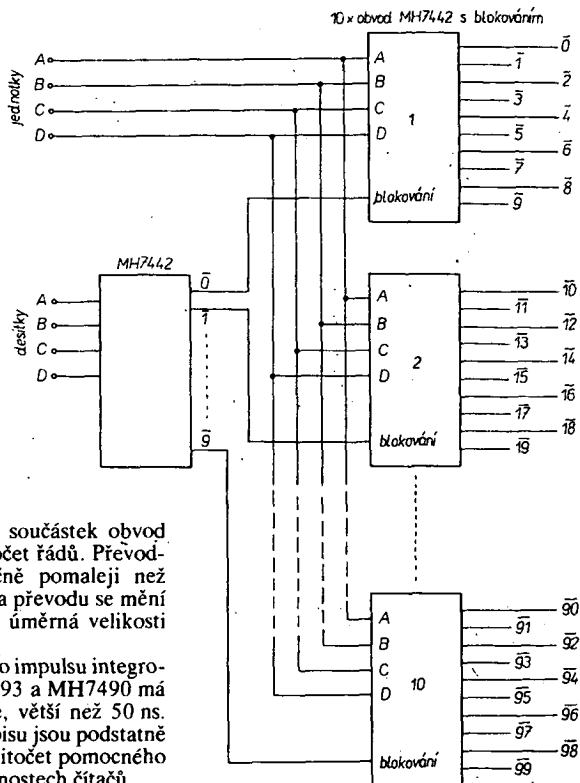
Pokud doplníme integrovaný obvod MH7442 podle obr. 118, můžeme vstupem BLOKOVÁNÍ upravit bit C a D na log. 1 a tím prakticky blokovat výstupy z tohoto obvodu. Potom lze libovolně rozšiřovat převodník pro vstupní informaci v kódu BCD. Na obr. 119 je naznačeno rozšíření pro výstupy 1 ze 100. Blokovací vstup umožňuje další rozšiřování převodníku.

Sériově pracující číslcový převodník

Převodník pro převod dvou různých číslcových kódů může pracovat podle blokového schématu na obr. 120. Pomocný generátor pracuje na maximálním kmitočtu, který jsou schopny spolehlivě zpracovávat následné obvody. Impulsy z generátoru jsou přivedeny na vstupy dvou čítačů, v nichž první pracuje v kódu vstupní informace a druhý v kódu, na který potřebujeme číslcovou informaci upravit. Komparátor porovnává obsah prvního čítače se vstupní kombinací. Při jejich souhlasu vyšle komparátor impuls do obvodu zápisu. Obvod zápisu zaznamená obsah druhého čítače, který je v tomto okamžiku požadovanou převedenou informací. Vzápětí se oba čítače vynulují a děj se opakuje.

Tímto způsobem lze poměrně pohodlně převádět jakýkoli číslcový kód na jiný a bez

Obr. 119. Převodník z BCD na kód 1 ze 100



velkých nároků na počet součástek obvod rozšiřovat na libovolný počet řádů. Převodník ovšem pracuje značně pomaleji než převodník paralelní a doba převodu se mění se vstupní informací – je úměrná velikosti čísla.

Šířka vstupního čítaného impulsu integrovaných čítačů typu MH7493 a MH7490 má být, podle údajů výrobce, větší než 50 ns. Obvody komparace a přepisu jsou podstatně rychlejší a proto závisí kmitočet pomocného generátoru pouze na vlastnostech čítačů.

Budeme-li realizovat převodník z binárního kódu na kód BCD nebo naopak s uvedenými čítači, musí generátor pracovat na kmitočtu maximálně 10 MHz. V rozsahu tří dekád BCD bude trvat převod největšího čísla déle než 100 μs.

Na obr. 121 je zapojení převodníku binárního čísla na číslo v kódu BCD v rozsahu tří dekád BCD. Generátorem je symetrický astabilní klopný obvod ze dvou invertorů, kondenzátorů C a odporů R. Odpory je nutno volit v rozmezí 1 až 5 kΩ. Pro kmitočet generátoru platí tento přibližný vztah

$$f \approx \frac{1}{2RC}$$

Pro odpory 1 kΩ a kmitočet 10 MHz je kapacita kondenzátorů asi 50 pF. Impulsy z generátoru jsou připojeny přímo ke vstupům obou čítačů. Binární čítač je sestaven z IO MH7493 a jeho výstupy jsou připojeny k logickému komparátoru z logických členů EXCLUSIVE – OR typu UCY7486N a invertorů s otevřeným kolektorem typu MH7405. Činnost komparátorů je popsána v kapitole Komparátory. Při souhlasu vstupní binární kombinace s obsahem čítače vznikne na odporu 1 kΩ komparační impuls. Tento

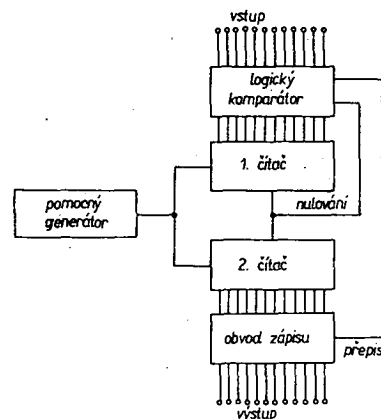
impuls má úroveň log. 1 a trvá po celou dobu periody pomocného generátoru, tj. asi 100 ns. S náběžnou hranou komparačního impulsu generuje obvod označený A krátký impuls, jehož šířka je určena zpožděním tří hradel typu NAND, tj. asi 30 ns. Tento impuls je připojen ke vstupům pro zápis klopných obvodů MH7490 a pracuje v kódu BCD. Při sestupné hraně impulsu z komparačního obvodu je obvodem B generován impuls, který nuluje všechny čítače. Čítače začnou s následující sestupnou hranou impulsu z pomocného generátoru opět plnit svůj obsah a děj se opakuje.

Pokud požadujeme převod z kódu BCD na kód binární, stačí vyměnit vzájemně integrované obvody v čítačích a zapojit desátý a jedenáctý bit komparátoru. O tyto bity také rozšíříme počet vstupů. Naopak na výstupních svorkách jsou desátý a jedenáctý bit zbytečné, neboť obsah čítačů v kódu BCD je menší.

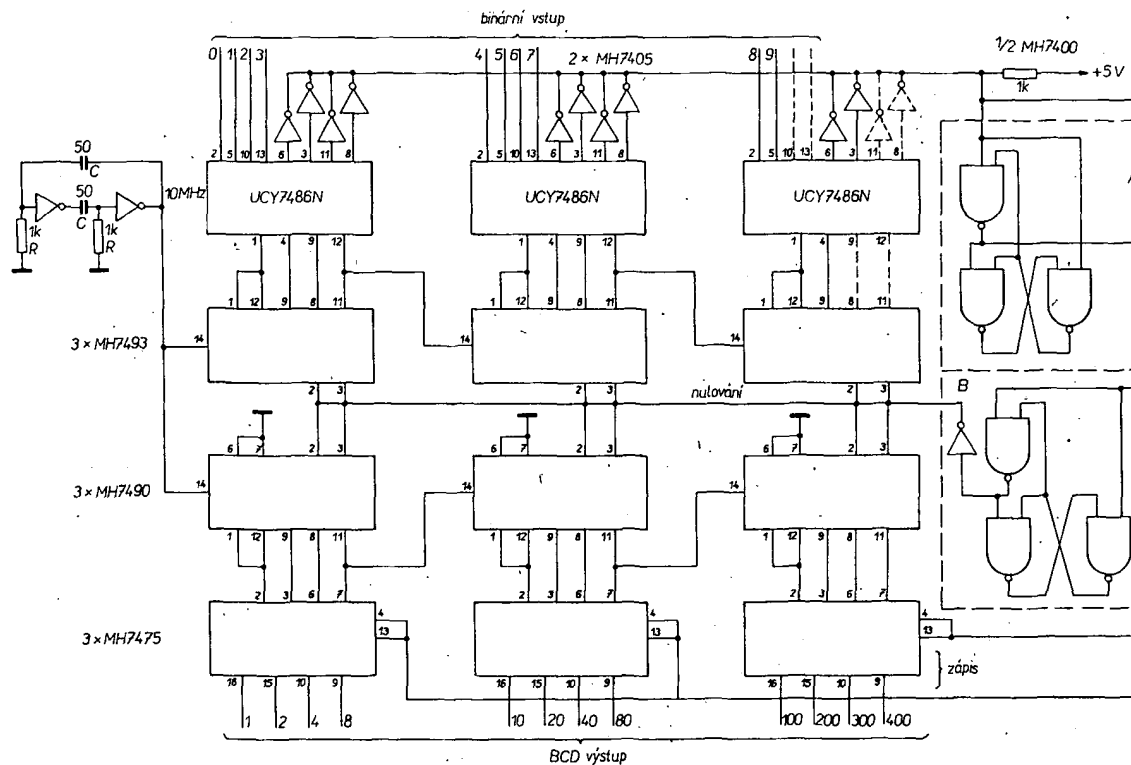
Převodník napětí/kmitočet

Velmi často je užitečné převést analogový údaj na údaj kmitočtový. Tohoto převodu se využívá např. při dálkovém měření (telemetrii) a pro číslcové zpracování analogových veličin. Připojíme-li na výstup převodníku čítač impulsů s indikací obsahu získáme integrátor analogové veličiny. Připojením číslcového měřiče kmitočtu získáme např. číslcový voltmetr atd.

Na obr. 122 je schéma relativně jednoduchého lineárního převodníku napětí na kmitočet. V zapojení je použit operační zesilovač MAA741 a univerzální časovací obvod typu 555 (např. NE555). Operační zesilovač tvoří spolu s odpory R₁ = R₄ a R₂ = R₃ napěťové řízení zdroj proudu. Proud z tohoto obvodu nabíjí kondenzátor C₁, takže se napětí na kondenzátoru lineárně zvětšuje. Obvod 555 pracuje jako astabilní multivibrátor, který se překlápí v okamžiku, kdy napětí C₁ dosáhne 2/3 U_{cc}. Kondenzátor C₁ se začne vybijet.



Obr. 120. Blokové schéma sériového převodníku



Obr. 121. Sériový převodník b/BCD

Když se napětí na C_1 zmenší pod $1/3 U_{cc}$, obvod 555 se opět přepne do výchozího stavu. Kmitočet překlápění závisí na velikosti nabíjecího proudu a ten lze řídit napětím U_v . Pro pasivní prvky podle obr. 122 platí přibližně vztah:

$$f[\text{kHz}] \approx 4,2 U_v.$$

Změna vstupního napětí od 0 do 5 V vyvolá změnu kmitočtu od 0 do 21 kHz. Odchylka od linearit převodu nepřesahuje 3 %. Potenciometrem R_5 nastavíme při nulovém vstupním napětí nulový kmitočet na výstupu.

Otáčkoměry

Obvody číslicové techniky umožňují poměrně snadno měřit rychlost otáčení rotujících předmětů a její číslicovou indikaci. Jako čidlo se většinou používají fotoelektrické snímače s fototranzistorem. Tyto snímače jsou obvodově jednoduché a spolehlivé. V některých aplikacích je na závadu jejich citlivost na okolní světlo. Při umělé osvětlení může nastat situace, že snímač reaguje na kmitočet, kterým je světlo modulováno, tj. na dvojnásobný kmitočet sítě. Údaj o snímání rychlostech otáčení může být potom zkreslený. Proto je nutno snímač před okolním světlem chránit a jako zdroj světla použít žárovku nebo svítivou diodu, které napájíme stejnosměrným filtrovaným napětím.

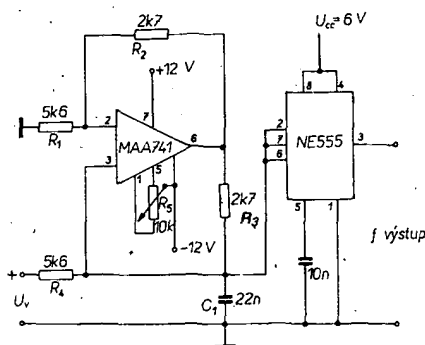
Jedno z možných konstrukčních řešení snímače je na obr. 123. Vnitřní část krytu je natřena matnou černí. Čočka z organického skla je osově provrtána a v otvoru, který je opět vyčištěn, je upevněn fototranzistor. Čočka slouží k usměrnění světla ze světelného zdroje, který se nachází v jejím ohnisku.

Možnost využít světla jiné vlnové délky než má to, které slouží k osvětlení, znamená doplnit optickou část čidla filtry a používat

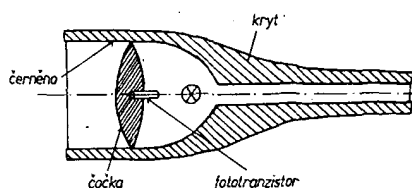
speciální fotonky. Pro amatérskou výrobu je tento způsob méně vhodný.

Na rotující části zařízení, jejíž rychlost chceme měřit, vytvoříme odraznou plošku. Může to být např. kousek bílé samolepící tapety (v zahraničí jsou pro tento účel vyráběny speciální reflexní samolepící pásy), nalepené na tmavém pozadí. Lze také naopak na světlou rotující část nalepit proužek matné černé pásy. Při větších rychlostech je vhodnější použít barevný lak, neboť samolepící páska se odlepuje.

Signál z fototranzistoru zesílíme a tvarujeme. Tím lze zlepšit citlivost čidla a získat impulsy s dostatečně strmými hranami pro další zpracování v číslicových obvodech. Na obr. 124 jsou zapojení vhodná pro tuto funkci.



Obr. 122. Převodník napětí/kmitočet



Obr. 123. Konstrukční uspořádání snímače

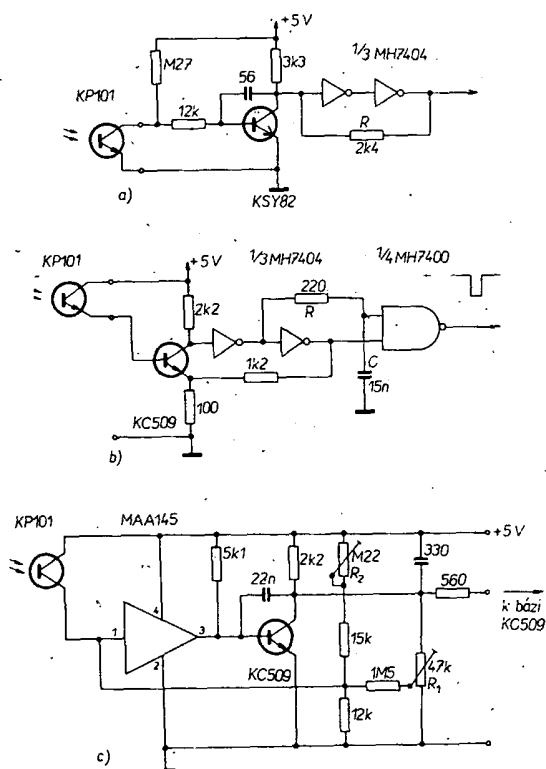
Zapojení podle obr. 124a vy náročné aplikace. Zdroj světla dostatečně výkonný, vzdálen odrazné plochy malá a odrazná být dostatečně velké. Zapojení zesílení signálu z fototranzistoru KSY82. Signál pro ho číslicového zpracování tvaru TTL. Odpor, kterým jsc vytváří hysterezi, zmenšující ci na rušivé signály a zlepšuje výstupních impulsů.

Složitější zapojení, které je upravuje i šířku výstupních i tranzistor je připojen k bá tranzistoru. Dva logické in' tvarově upraví a vazba do emit hysterezi obvodu. Členy R spolu s hradlem NAND obv začlenění fototranzistoru gei o šířce asi 5 μ s.

Na obr. 124c je zesilovač, k zlepšuje citlivost fotoelektrici V zapojení je použit lineární obvod MAA145. Citlivost zesílení výstupních impulsů lze nastavit pomocí R_1 a R_2 . Obvod je z fototranzistoru v obr. 124b. nutno používat citlivý snímač vykle dbát na jeho vhodné př mezit nežádoucím chvěním, kte nilo správnou činnost otáčkom

Impulsy ze snímače přived čítače, který pracuje v kódu toho, zda chceme znát poč sekund nebo za minutu, odm ým impulsem čas a zajistíme čítače do obvodu zápisu a ind čítač nuluje. Funkce je patrn schématu na obr. 125. Impulsy obvodu musí být dostatečně „né, neboť na nich závisí cell otáčkoměru. Hodinový obvo přepínačem rozsahů, který tal pinání desetinné tečky na zol notce.

Mějme např. dvoudekádový sem a zobrazením. Bude-li ho každou sekundu generovat závací impuls, bude otáčkoměr p



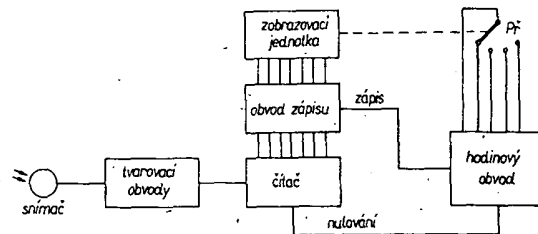
Obr. 124. Obvody fototranzistoru

sahu 00 až 99 ot/s. Pokud budou impulsy generovány každých 10 s, bude rozsah otáčkoměru 0 až 9,9 ot/s a naopak při generování impulsů po 0,1 s vyhoví otáčkoměr pro rozsah 0 až 990 ot/s. Tentokrát však s přesností 10 ot/s.

Chceme-li, aby otáčkoměr ukazoval počet otáček za minutu, postačí upravit hodinový obvod tak, aby generoval impulsy vždy za

minutu nebo v čase desetkrát, stokrát atd. kratším, podle zvoleného rozsahu.

Z uvedeného vyplývá jedna zásadní nechtost tohoto způsobu měření rychlosti otáčení – obvod se totiž nehodí pro měření malých rychlostí otáčení. Chceme-li např. s dostatečnou přesností určit rychlost otáčení gramofonového talíře (33 ot/min) a průběžně kontrolovat kolísání jeho rychlosti; musíme

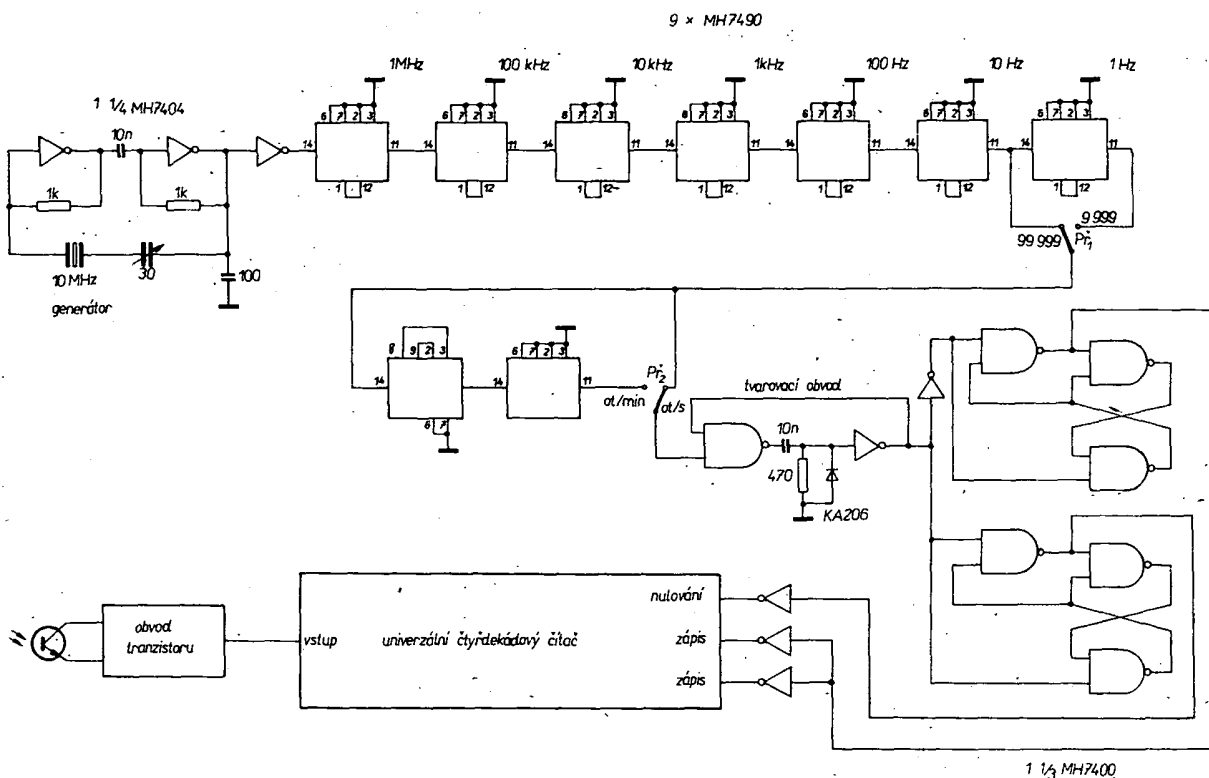


Obr. 125. Blokové schéma otáčkoměru

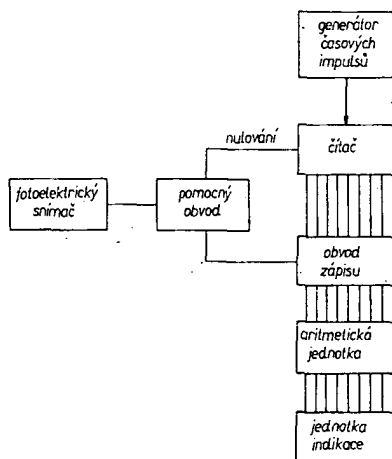
me čekat na výsledek celou minutu. Po této době se totiž čítač naplní hodnotou 33 (ot/min). Přitom je možné, že během této minuty jeho rychlost značně kolísá a otáčkoměr nám tuto skutečnost „zatají“. Proto se tohoto zapojení může využívat pouze pro větší rychlosti otáčení. I když to závisí samozřejmě na způsobu použití, lze obecně tvrdit, že vzhledem k setrvačným hmotám je únosné snímat počet otáček maximálně každých 10 s. To odpovídá nejnižšímu rozsahu otáčkoměru 1000 ot/min, popř. 10 ot/s.

Abychom tuto nevýhodu „obešli“, je možno rotující část, jejíž rychlost otáčení měříme, umístit větší počet odrazných plošek. Z hlediska snadného přepočtu je nejvhodnější volit počet plošek jako násobek deseti. Plošky je však nutno rozmístit rovnoměrně po celém obvodu rotující součásti, což často činí značné potíže. Průmyslově jsou vyráběny speciální fotoelektrické impulsní snímače, které generují na jedinou otáčku až několik tisíc impulsů s dokonalou rovnoměrností. Tyto snímače se např. používají při odměřování u číslicově řízených strojů. Vyrábí je např. TESLA Kolín k. p. pod označením IME2, nebo ZAVT k. p. s označením IRC. Takové snímače nejsou určeny pro rychlost otáčení menší než 1000 ot/min. Jejich cena je však značná a pro amatéry jsou nedostupné.

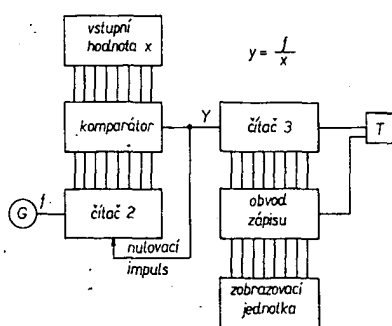
Ověřené zapojení otáčkoměru je na obr. 126. Otáčkoměr je čtyřdekádový a k jeho stavbě je využito univerzálního čtyřdekádo-



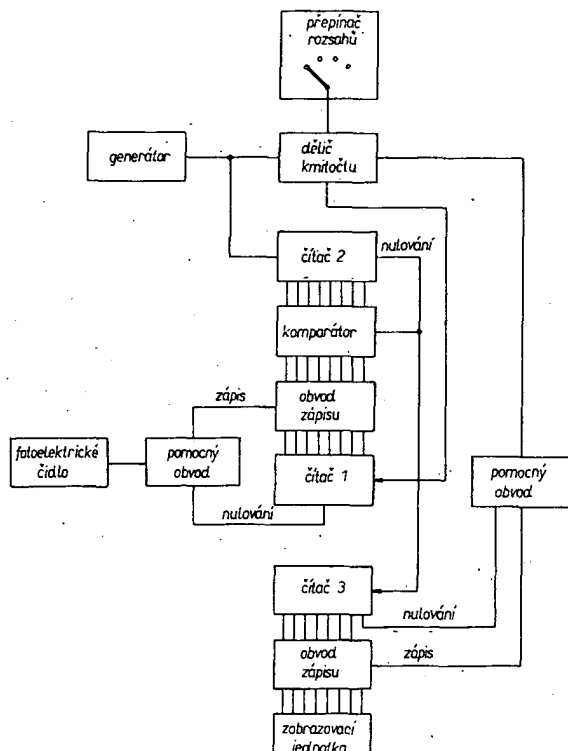
Obr. 126. Otáčkoměr



Obr. 127. Blokové schéma otáčkoměru pro malé rychlosti otáčení



Obr. 128. Náhradní zapojení aritmetického obvodu



Obr. 129. Celkové blokové schéma obvodu pro přepočet doby 1 otáčky na počet otáček za časovou jednotku

vého čítače, který byl včetně návrhu desky s plošnými spoji popsán v části Děliče kmitočtu a čítače v tomto AR B. Na desce s plošnými spoji nemusí být osazeny integrované obvody MH7405 a UCY7486N. Deska s plošnými spoji může být popř. i zmenšena o plochu, na které jsou tyto IO umístěny.

Hodinový obvod zpracovává kmitočet krystalového generátoru 10 MHz. Tento kmitočet je v sedmi IO typu MH7490 dělen na potřebné impulsy s kmitočtem 1 Hz a 10 Hz. Toto dělení odpovídá rozsahům otáčkoměru 9999 ot/s a 99990 ot/s. Větší rozsah samozřejmě nevyužijeme pro běžná měření rychlosti otáčení.

Druhý přepínač zapojuje do řetězce další dělič kmitočtu s dělicím poměrem 1:60. Tím jsou oba rozsahy upraveny pro minutový údaj, tj. pro rozsahy 9999 ot/min a 99990 ot/min. Impulsy z děliče kmitočtu jsou v tvárovacím obvodu upraveny na impulsy o šířce asi 5 μ s. Náběžnou hranou u tohoto impulsu je generován krátký zápisový impuls a sestupnou hranou nulovací impuls do čítače. Otáčkoměr odeberá ze zdroje stabilizovaného napětí 5 V asi 0,9 A. Zobrazovací sedmissegmentové jednotky lze napájet z nestabilizovaného zdroje a tím zmenšit odběr ze zdroje 5 V na přibližně 0,7 A.

Pro otáčkoměry s malými rozsahy měřených rychlostí otáčení se lépe hodí zapojení, které je blokově znázorněno na obr. 127. Jedná se vlastně o měření času, za který se rotující část otočí jedenkrát. Naměřený čas se přepočítá pro snadnou orientaci na počet otáček za sekundu nebo minutu. Generátor časových impulsů plní čítač, jehož obsah se vždy po impulsu z fototelektrického snímače zapíše do obvodu zápisu a čítač se nuluje. K přepočtu může sloužit např. aritmetická jednotka, jejíž výsledek je indikován na panelu přístroje. Aritmetická jednotka vytváří převrácenou hodnotu naměřeného času

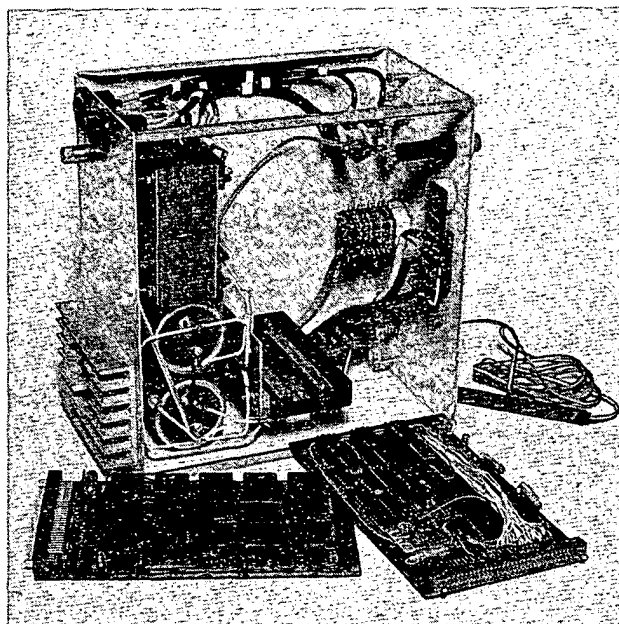
jedné otáčky a tento údaj násobí konstantou, úměrnou požadovanému rozsahu. I když aritmetická jednotka je běžným obvodem z nejlevnějších kapesních kalkulaček, je pro našeho amatéra (a nejen amatéra) těžko dostupná. Dražší, avšak dostupné řešení znamená použití obvodu podle blokového schématu na obr. 128.

Údaj o změřeném čase je ve tvaru kódu BCD přiveden na vstup číslicového komparátoru. Na párové vstupy komparátoru jsou připojeny výstupy z pomocného čítače 2. Tento čítač je připojen ke generátoru. Kmitočet generátoru ovlivňuje rozsah otáčkoměru. Při souhlasném obsahu čítače 2 s časem jedné otáčky vyšle komparátor impuls, který nuluje čítač 2 a současně je přiveden na vstup čítače 3. Četnost těchto komparačních impulsů je tím menší, čím větší je doba jedné otáčky rotujícího předmětu. Když je např. tento čas roven nejmenšímu obsahu čítače, tj. 1, dochází ke komparaci při každém impulsu z generátoru. Kmitočet signálu, který plní čítač 3, je roven kmitočtu signálu generátoru. Při vstupní hodnotě N je kmitočet generátoru dělen číslem N. Přepíšeme-li obsah čítače 3 za určitý časový úsek do klopných obvodů a čítač 3 vynulujeme, je obsah klopných obvodů, který zobrazujeme, nepřímě úměrný času, jedné otáčky. Tímto způsobem uskutečneme potřebný přepočet doby otáčení na počet otáček za minutu (sekundu). Obvod označený T měří časový úsek požadovaný k přepisu čítače 3. Změnou časového úseku je možno měnit také rozsah otáčkoměru.

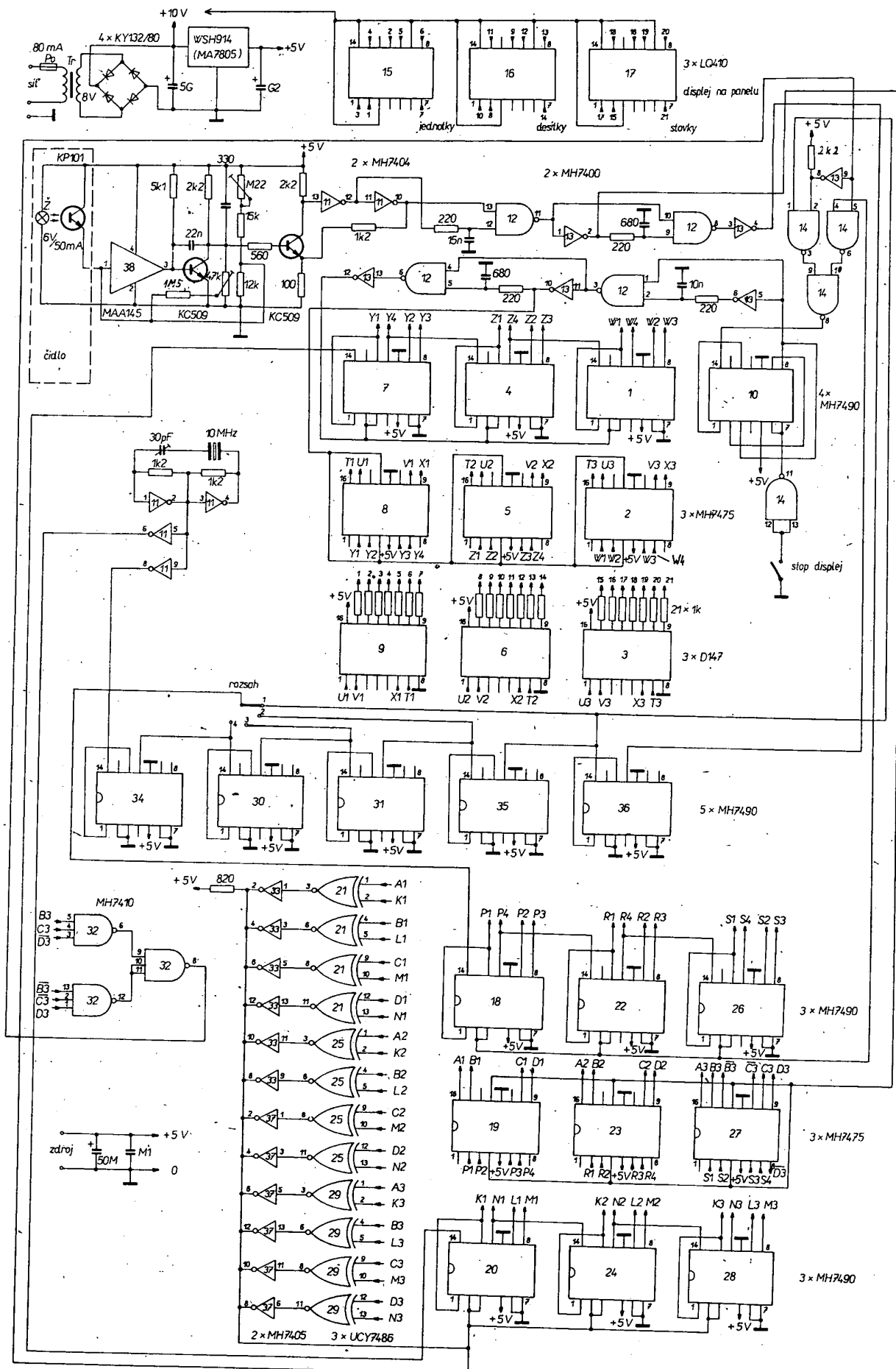
Celkové blokové schéma otáčkoměru je na obr. 129. Otáčkoměr je sestaven z čidla, generátoru, děliče kmitočtu, tří čítačů, komparátoru, dvou obvodů zápisu, pomocných obvodů a obvodu indikace. Otáčkoměr je tedy poměrně složitější než podle obr. 128, avšak některé obvody jsou shodné. Bylo by možno přepínat funkce čítače podle obou způsobů pro různé rychlosti otáčení.

Bez obvodů samočinného přepínání rozsahů byl otáčkoměr realizován na dvou univerzálních deskách plošných spojů. Vnější vzhled přístroje je zřejmý z fotografie na titulní straně obálky, a vnitřní uspořádání otáčkoměru je na obr. 131. Skutečné zapojení je na schématu v obr. 130.

Impulsy z optické sondy jsou tvarově zpracovány v integrovaném obvodu MAA145 a ve dvou tranzistorech KC509. V hradle číslicových IO jsou impulsy tvaro-



Obr. 131. Provedení otáčkoměru



Obr. 130. Celkové schéma otáčkoměru

vány a přivedeny k obvodům zápisu IO₁₉, IO₂₃ a IO₂₇. Zpožděný impuls je přiveden k obvodům nulování IO₁₈, IO₂₂ a IO₂₆. Tento čítač je připojen na střed přepínače rozsahů. Polohy přepínače odpovídají následující tabulce:

Poloha	Rozsah [ot/min]	Násobitel
1	60 až 599	×1
2	600 až 5 990	×10
3	6 000 až 59 900	×100
4	60 000 až 599 000	×1000

Nevýhodou zapojení je, že musíme znát nebo odzkoušet správný rozsah. Při zvolení nesprávného rozsahu ukazuje přístroj nesprávnou rychlost otáčení.

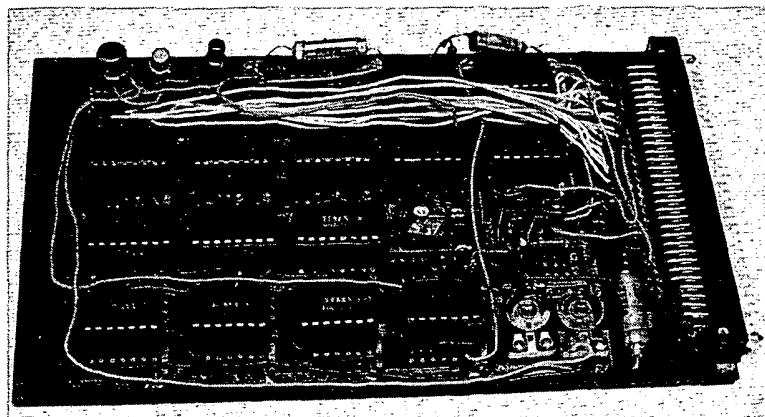
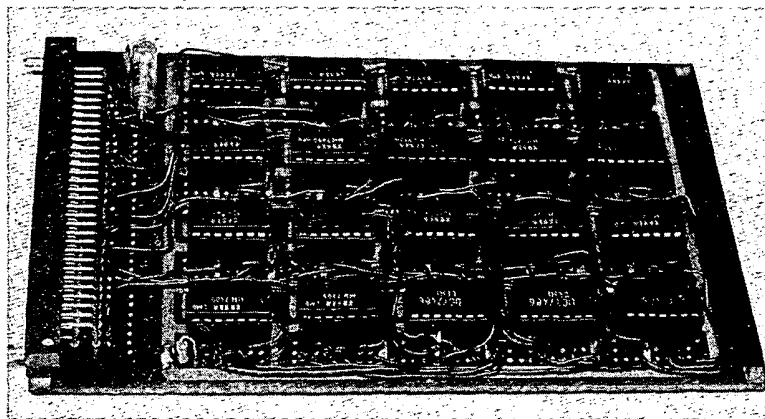
Kmitočty, kterým odměřujeme čas, je odvozen z krystalového oscilátoru.

Integrované obvody jsou napájeny ze stabilizovaného zdroje 5 V, který je osazen integrovaným stabilizátorem WSH914 nebo MA7805. Nestabilizované napětí z filtračního kondenzátoru napájí zobrazovací jednotky LQ410.

Tlačítko STOP je aretační a lze jím blokovat čítač IO₁₀ a tak nechat „zapsaný“ údaj na displeji.

Ve funkci komparátoru, v němž se porovnává údaj čítače s údajem úměrným době jedné otáčky, jsou použity členy EXCLUSIVE-OR UCY7486.

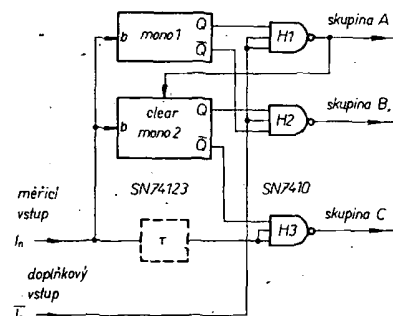
Osazené univerzální desky s plošnými spoji otáčkoměru



Nskupinový diskriminátor šířky impulsů

V zařízeních, zpracovávajících impulsní signály, je často nutné klasifikovat či třídit jednotlivé impulsy podle doby trvání do několika skupin. Všimněme si jednoduchého řešení, jehož autorem je Ind P. Reddy.

Zapojení na obr. 1 klasifikuje impulsy do tří skupin. Vidíme, že je k tomu zapotřebí pouze dvou pouzder běžných obvodů TTL. Jednotlivé hranice mezi zvolenými třemi skupinami mohou být nezávisle upravovány a mohou se pohybovat od několika desítek ns do několika s. Především jsou užity dva monostabilní klopné obvody. (Platí, že pro Nskupinový diskriminátor je zapotřebí N-1 monostabilních obvodů). Při uvažovaném rozdělení do tří skupin patří do první impulsy o šířce 0 až



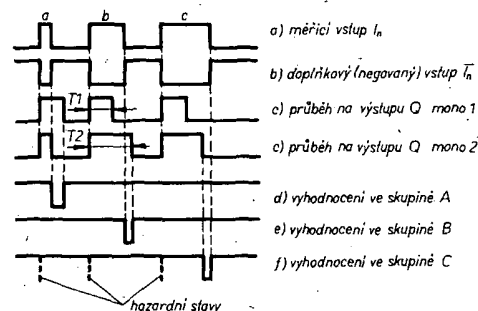
Obr. 1. Schéma diskriminátoru

t_1 , do druhé t_1 až t_2 a konečně do třetí impulsu, delší než t_2 . Přitom t_1 je šířka impulsu prvního, t_2 druhého monostabilního obvodu. Na diskriminátor je třeba zavést vstupní impulsy pomocí měřícího a doplňkového (negovaného) vstupu. Průběhy, usnadňující pochopení funkce diskriminátoru, jsou v časovém diagramu, obr. 2. Náběžná hrana každého impulsu na měřícím vstupu spustí *mono 1* a *mono 2* současně. Je-li šířka vstupního impulsu menší než t_1 , výstup hradla H1 → log. 0 a nuluje *mono 2*. Výstupy hradel H2, H3 setrvávají na úrovni log. 1. To proto, že hradlo H2 je po dobu t_1 blokováno výstupem \bar{Q} *mono 1*, hradlo H3 *mono 2*. Tato situace odpovídá v obr. 2 impulsu a). Bude-li šířka vstupního impulsu $t_1 < t_{mp} < t_2$, setrvávají na log. 1 hradla H1, H3, na log. 0 přechází výstup hradla H2. A konečně při $t_{mp} > t_2$ zůstávají na log. 1 výstupy hradel H1, H2, na log. 0 se mění H3. Meze jednotlivých skupin lze upravit změnou doby kyvů *mono 1*, *mono 2*.

Zapojení zasluhuje doplnit několika poznámkami se zřetelem na dokonalou činnost, na blokování falešných impulsů,

ke kterým by mohlo docházet po startu monostabilních obvodů. Pokud mezi měřícím a doplňkovým vstupním signálem nebude žádná časová koincidence, lze předpokládat, že hradla H1, H2 budou pracovat přesně. Výstupy Q, popř. \bar{Q} reagují na hranu hodinového impulsu s určitým reakčním zpožděním, které stačí výstupy obou hradel při náběhu vstupního impulsu blokovat. Snaha o ušetření třetího monostabilního obvodu však vede k hazardnímu stavu u hradla H3. V klidovém stavu je na výstupu \bar{Q} obvodu *mono 2* úroveň log. 1. Náběžná hrana impulsu na měřícím vstupu překlápí *mono 2*. Po dobu reakčního zpoždění výstupu \bar{Q} za hodinovým vstupem se však na obou vstupech hradla H3 vyskytnou úrovně log. 1, které způsobí mžikové překlacení hradla H3 na log. 0 (na jeho výstupu). Pokud se budou výstupy jednotlivých skupin dále ukládat např. do strádačů nebo čítačů, mělo by to za následek falešné údaje. Proto by bylo třeba zapojení upravit vložením zpožďovacího článku do vstupu hradla H3, jak je na obr. 1 znázorněno čárkovaně. Zapojení lze snadno rozšířit na větší počet klasifikačních tříd.

Kyrs



Obr. 2. Diagram, popisující rozdělení impulsů podle šířky do klasifikačních skupin